

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**FAKULTA TEXTILNÍ**



**STRUKTURA A VLASTNOSTI  
LISTOVÝCH A ŽAKÁRSKÝCH TKANIN**

**STRUCTURE AND PROPERTIES OF DOBBY AND  
JACQUARD WOVEN FABRIC**

**HABILITAČNÍ PRÁCE**

**Ing. Brigita KOLČAVOVÁ SÍRKOVÁ, Ph.D.**

**Listopad 2019**

## Abstrakt

Struktura tkaniny jak listové, tak žakárské definuje kvalitu tkaniny a značně ovlivňuje nejen užité, mechanické a povrchové vlastnosti, ale také vlastnosti estetické. Obecně je možné strukturu tkaniny vyjádřit na základě plošné a prostorové geometrie. Plošnou geometrii tvoří údaje hodnotící tkaninu z hlediska vnějšího uspořádání jak vzoru, tak nití v jednotlivých soustavách. Plošnou geometrií je definovaná konstrukce tkaniny ve vztahu k vstupnímu materiálu, provázání nití a dostavě nití ve tkanině. Prostorovou geometrii tvoří údaje hodnotící tkaninu z hlediska vnitřního uspořádání nití v jednotlivých soustavách.

Cílem habilitační práce je rozbor a definice základních parametrů struktury listových a žakárských tkanin ve vztahu k plošné a prostorové geometrii tkaniny. Následně na základě strukturálních parametrů navrhnout modelovou představu listových a žakárských tkanin, která umožní predikovat vybrané vlastnosti tkanin v ustáleném stavu. Ty mohou být využity pro možné posouzení vhodnosti aplikace tkanin ještě před jejich vlastní výrobou. Cílem uvedených kapitol habilitační práce není sledování struktury listových a žakárských tkanin v rámci dynamických procesů spojených s tvorbou tkaniny na tkacím stroji.

Plošná a prostorová geometrie tkanin je stěžejní pro modelování jak dynamických procesů spojených s tvorbou tkaniny, tak statických procesů spojených s definicí vlastností tkaniny v ustáleném stavu. Vliv struktury tkaniny (materiálu, provázání, dostavy) lze s dostatečnou přesností zachytit na základě zjednodušujících předpokladů navržených modelů tkaniny určených k hodnocení užitných, mechanických i povrchových vlastností.

Modelová představa tkaniny vychází z předpokladu, že základní rozměry strukturálních prvků jsou již neměnné. Pro sledování závislostí mezi strukturou a výslednými vlastnostmi tkaniny je možné pracovat s teoretickými úvahami a modely, mnohdy doplněnými empirickými poznatky s vhodnou matematickou formulací.

Dostatečně operativní model struktury tkaniny popisující morfologii tkaniny může být použit v numerických modelech (Metoda Konečných Prvků) pro simulaci a možné hodnocení chování tkanin při změnách sil a deformací v čase.

## Abstract

The structure of dobby and jacquard woven fabric defines and influences the mechanical properties, end-use and surface properties as well as aesthetic properties. Generally, woven fabric structure can be expressed on the basis of the planar and spatial geometry. The planar geometry evaluates woven fabric in terms of the outer arrangement of the pattern as well as threads in the individual directions. The parameters of the planar geometry creates woven fabric construction in relation to the input material, the interlacing of the threads as well as warp and weft set. The spatial geometry evaluates woven fabric in terms of the inner arrangement of the threads in the individual direction of woven fabric structures.

The aim of the thesis is the analysis and definition of the basic parameters of dobby and jacquard woven structure in relation to the planar and spatial geometry of the fabric. Subsequently, on the basis of structural parameters to propose a model imagination of dobby and jacquard woven structure, which will allow us to predict selected properties of fabrics in a steady state. These properties can be used for evaluation of suitability of woven fabric in relation to its application before fabric manufacturing. The aim of the thesis chapters is not to monitor the structure of dobby and jacquard fabrics within the dynamic processes associated with the solution of individual fabric forming nodes on a weaving machine.

The influence of woven fabric structure can be captured with sufficient precision on the basis of simplistic assumptions of proposed woven fabric models intended for evaluation of the mechanical, and end-use as well as surface properties.

A model imagination of dobby and jacquard woven structure is based on the assumption that the basic dimensions of structural elements are already invariable. During evaluation of the dependences between woven fabric structure and resulting fabric properties it is possible to work with theoretical considerations and models often supplemented with empirical findings related to appropriate mathematical formulation.

A sufficiently operative model of woven fabric structure which describe woven fabric morphology can be used in numerical models (Finite Element Method) for simulation as well as evaluation of woven fabric behaviour based on changes of forces and deformations over time.

## Koncepce habilitační práce

Habilitační práce je koncipovaná jako písemná práce přinášející nové vědecké poznatky v oblasti struktury a vlastností listových a žakárských tkanin.

Výzkumem v oblasti struktury tkanin se zabývali mnozí autoři. Současné přístupy zaměřené na definici parametrů plošné a prostorové geometrie i samotné predikce vlastností tkanin jsou popsány v různých publikacích a příspěvcích různými způsoby. V mnoha případech se jedná o přístupy ryze experimentální. Tato habilitační práce se zaměřuje na aktuální řešení témat spojených se strukturou listových i žakárských tkanin. Přináší nové analytické pohledy jak k definice parametrů plošné i prostorové geometrie tkanin listových i žakárských, tak i na predikci vybraných vlastností tkanin hodnotících tkaninu ještě před její vlastní výrobou.

Přínosem habilitační práce jsou:

- 1) nové přístupy k definici základních parametrů struktury listových a žakárských tkanin ve vztahu k plošné a prostorové geometrii tkaniny,
- 2) matematické a geometrické modely listových a žakárských tkanin, které umožňují predikovat vybrané vlastnosti tkanin v ustáleném stavu. Modely lze využít pro posouzení vhodnosti tkanin pro dané použití ještě před jejich vlastní výrobou.

Nově navržené přístupy při řešení nosných témat souvisejících se strukturou a vlastnostmi listových a žakárských tkanin jsou rozpracované v jednotlivých kapitolách habilitační práce. Členění kapitol – autorkou navržených přístupů k řešení struktury tkanin je:

- 1) Identifikace provázání nití v plošné geometrii tkanin listových a žakárských – definice strukturálních buněk provázání nití.
- 2) Definice dostavy nití v plošné a prostorové geometrii tkanin listových a žakárských pomocí strukturálních buněk provázání.
- 3) Vyjádření tvaru vazné vlny využitím Fourierových řad v prostorové geometrii tkanin listových i žakárských.
- 4) Predikce vybraných vlastností tkanin listových a žakárských v ustáleném stavu, software ProTkaTex. Predikované vlastnosti:
  - 4.1) setkání nití ve tkanině,
  - 4.2) tloušťka tkaniny,
  - 4.3) geometrická drsnost tkaniny.



## Obsah

1	Úvod do problematiky listových a žakárských tkanin	6
2	Plošná geometrie listových a žakárských tkanin	9
2.1	Definice vstupních parametrů plošné geometrie listových a žakárských tkanin	12
2.2	Vyjádření provázání nití ve tkanině listové a žakárské	15
2.3	Vyjádření dostavy nití ve tkanině	23
3	Prostorová geometrie listových a žakárských tkanin	34
3.1	Vyjádření a popis vazné vlny provázání nití v příčném řezu tkaninou	39
4	Predikce vybraných vlastností tkanin na základě definice struktury tkaniny	50
4.1	Predikce setkání nití ve tkanině listové a žakárské	52
4.2	Predikce tloušťky tkaniny listové a žakárské	60
4.3	Predikce geometrické drsnosti tkaniny listové a žakárské	66
5	Shrnutí sledované problematiky	77
6	Literatura	79

## 1 Úvod do problematiky listových a žakárských tkanin

Tkanina z hlediska své obecné definice dané normou (ČSN 80 0021) je definovaná jako plošná textilie vyrobená z jedné nebo více soustav podélných nití a z jedné nebo více soustav příčných nití, provázaných vzájemně v kolmém směru. Dle základní terminologie tkaní podélná soustava je osnovní soustava a příčná soustava je útková soustava. Základním rozbořením výše uvedené definice tkaniny je možné tkaniny členit na základě: a) *počtu soustav nití obsažených ve tkanině*, b) *způsobu provázání/vzorování nití ve tkanině*.

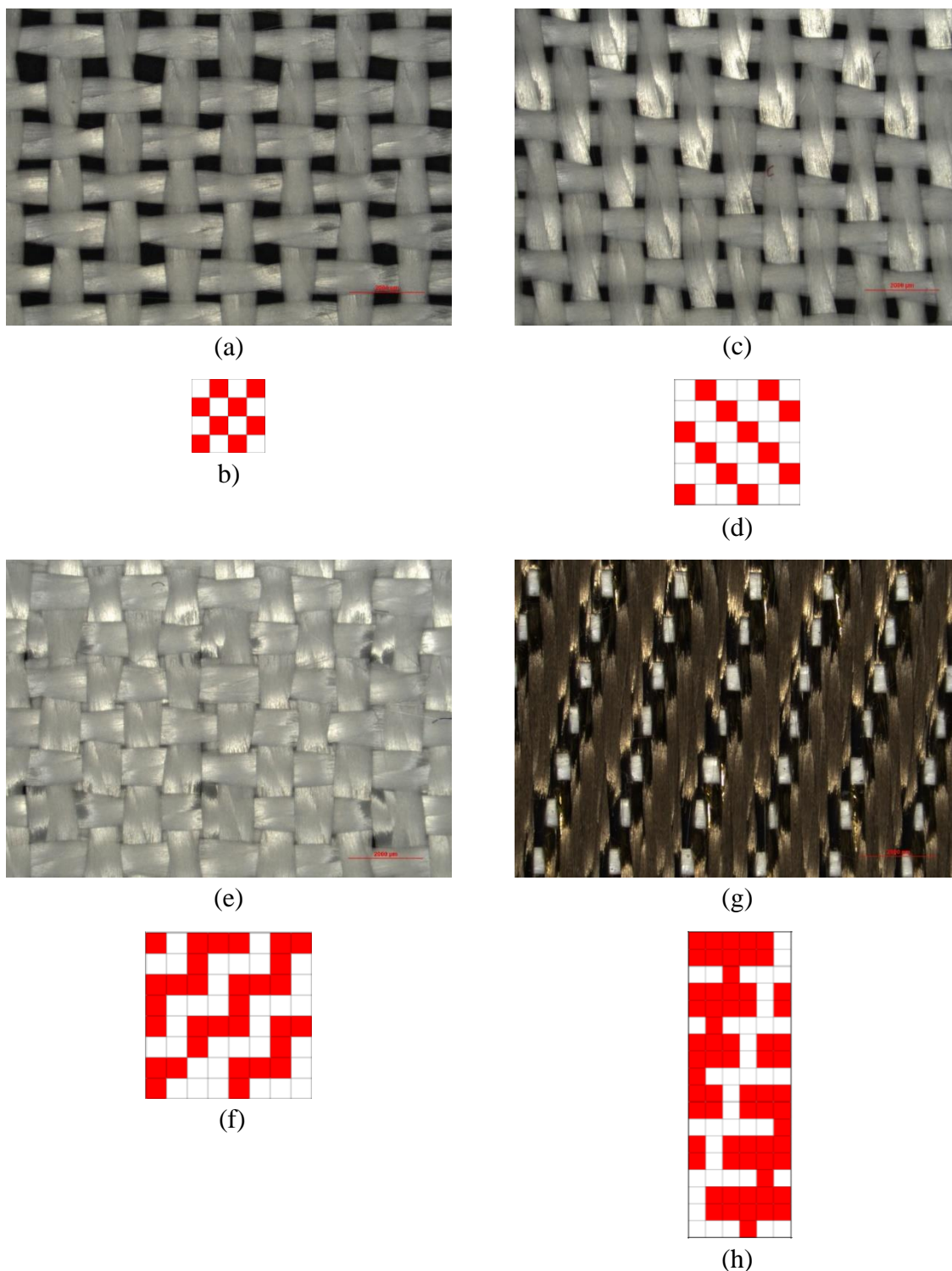
*ad a) Členění tkanin dle počtu soustav nití obsažených ve tkanině* – počet soustav nití podílejících se na tvorbě tkaniny rozděluje tkaniny na plošné a prostorové. Plošné - jednoduché tkaniny z hlediska základního členění počtu soustav nití obsahují jednu osnovní soustavu a jednu útkovou soustavu. Z pohledu struktury tkaniny základní řada plošných textilií je rozměrově definovaná šířkou a délkou tkaniny, třetí rozměr vyjádřený tloušťkou tkaniny je vůči zmíněným dvěma rozměrům zanedbatelný. Prostorové tkaniny z hlediska základního členění jsou rozděleny do tří základních skupin: a) *víceosnovní tkaniny* – jedná se o tkaniny, ve kterých vzájemné provázání tvoří dvě a více osnovních soustav a jedna útková soustava, b) *víceútkové tkaniny* – jedná se o tkaniny, ve kterých vzájemné provázání tvoří jedna osnovní soustava a dvě a více útkových soustav, c) *vícenásobné tkaniny* – jedná se o tkaniny, ve kterých vzájemné provázání tvoří dvě a více osnovních soustav a dvě a více útkových soustav. Nítě jednotlivých soustav se konstrukčně ukládají do jednotlivých vrstev nad sebe, čímž dochází k nárůstu tloušťky tkaniny, a to v případě všech tří zmíněných skupin prostorových tkanin. Vzájemné provázání nití jak plošných, tak prostorových tkanin bez ohledu na počet jednotlivých soustav nití ve tkanině je vždy realizováno použitím tkacího stroje s listovým nebo žakárským prošlupným mechanismem. Konkrétní vazebné provázání jednotlivých nití v daných soustavách vychází z technických požadavků aplikace, ve které má být tkanina použita.

*ad b) Členění tkanin dle způsobu provázání/vzorování nití ve tkanině* – způsob vzájemného provázání nití ve tkanině je možné rozdělit do dvou základních skupin. Provázání definující listové tkaniny a provázání definující tkaniny žakárské.

Listové tkaniny – z pohledu definice tkaniny se jedná o tkaninu, ve které je způsob vzájemného provázání nití definován jednou vazbou (u vazebných technik listových tkanin vzorovaných v pruzích nebo ve čtvercích lze využít dvou až tří vazeb ve vztahu k počtu listů). Střída konkrétní vazby tvoří pravidelné opakování v celé ploše tkaniny, a tím určuje její plošnou a prostorovou geometrii. Z pohledu tkacího stroje a definice základního mechanismu podílejícího se na tvorbě provázání nití, je listová tkanina vyrobena na tkacím stroji s listovým prošlupným mechanismem. Osnovní nitě jsou ovládány přes nitěnku listem. Jednotlivé listy tkacího stroje jsou ovládány vačkovým nebo listovým prošlupným mechanismem. Vačkový prošlupný mechanismus je konstruován pro osazení maximálně 10 listy. Z hlediska provázání v daném případě mechanismus umožňuje vytkávání vazeb o velikosti střidy definované maximálně 10-ti osnovními nitěmi. Listový prošlupný mechanismus je koncepčně konstruován pro osazení maximálně 28 listy. Z hlediska provázání v daném případě mechanismus umožňuje vytkávání vazeb o velikosti střidy definované maximálně 28-ti osnovními nitěmi. Hlavním výrobcem listových prošlupných mechanismů je firma (STÄUBLI (Švýcarsko) [1]). Velikost střidy z hlediska počtu útkových nití



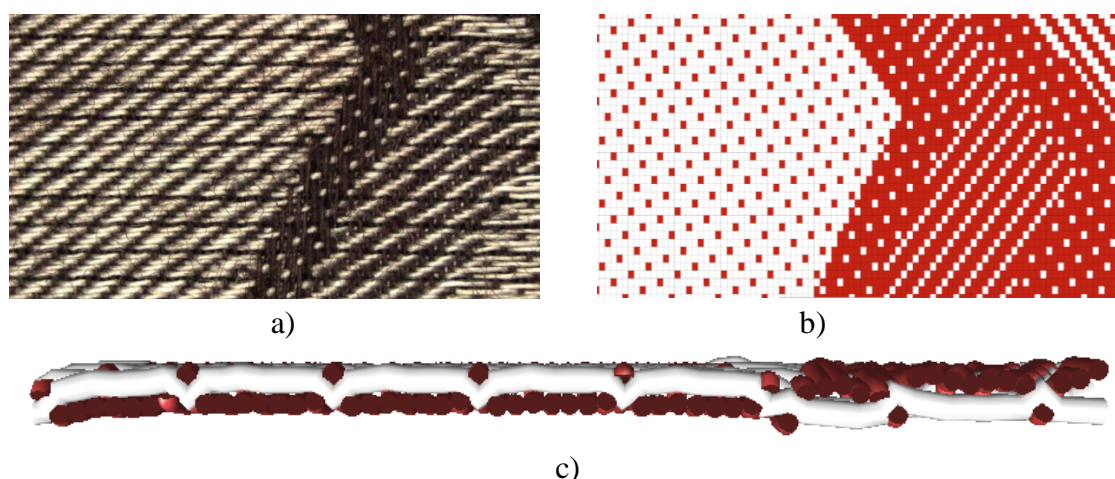
ve střídě vazby je neomezený. Útek není ovládán prošlupným mechanismem, které vytváří dané omezení v provázání. Ukázka listových tkanin je uvedena na Obr. 1.1.



Obrázek 1.1: Ukázka listových tkanin; a) jednoduchá listová tkanina v plátnové vazbě, b) vazba příslušné tkaniny, c) jednoduchá listová tkanina v keprové vazbě K1/2 (S), d) vazba příslušné tkaniny, e) dvou-násobná spojková listová tkanina v plátnové vazbě, f) vazba příslušné tkaniny, g) trojúhelníková listová tkanina v keprové vazbě, h) vazba příslušné tkaniny.

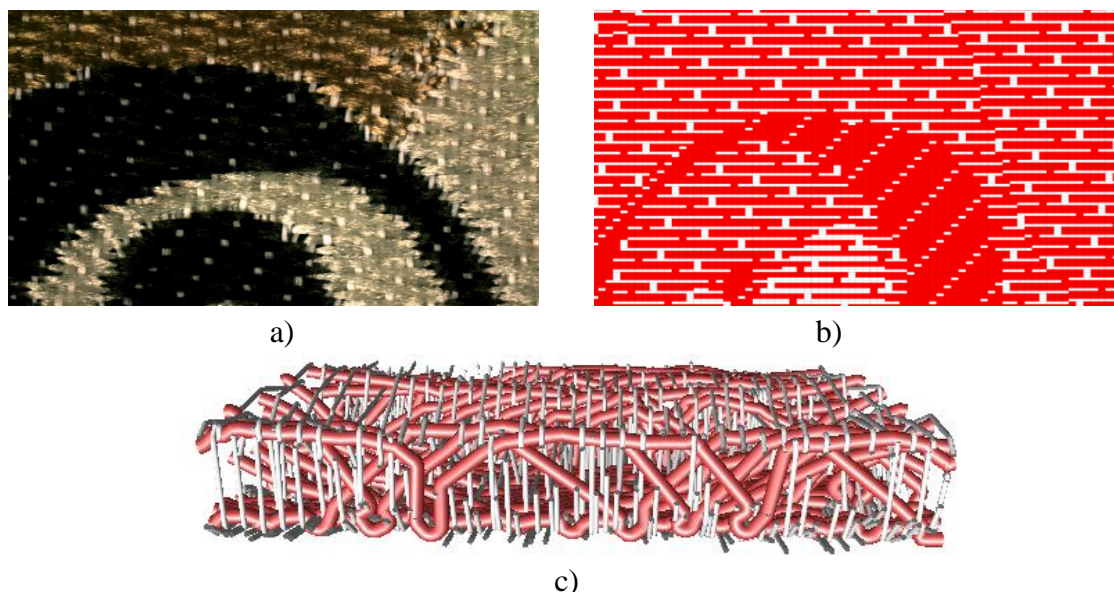


Žakárské tkaniny – z pohledu definice tkaniny se jedná o tkaninu, ve které je způsob vzájemného provázání nití definován kombinací dvou a více vazeb, které vytvoří ve vstupní figurální předloze provázání jednotlivých ploch. V daném případě provázání nití v žakárských tkaninách souvisí se složitostí figurální předlohy. Provázání jednotlivých vazeb pro danou plochu vzoru v žakárské vzornici má stejné zákonitosti jako provázání vazeb u tkanin listových, ale z pohledu celé plochy tkaniny je opakování vazeb dáno uspořádáním celého figurálního obrazce v ploše tkaniny. Vzor žakárských tkanin, stejně jako u listových tkanin, je možné definovat na základě výsledné střídý vzoru. Z hlediska uspořádání vzoru vzhledem k šířce tkaniny dělíme žakárské vzory na jedno-střídivé – vzor bez opakování (šířka vzoru se rovná šířce tkaniny) a více-střídivé - vzorování s opakováním vzoru (v rámci šířky tkaniny se vzor pravidelně zopakuje dle kompozice tkaniny a možnosti řazení zdvižných šnůr prošlupního mechanismu). Vzory v rámci střídý mohou být uspořádány jako celoplošné nebo půdové. U celoplošného vzorování tkanin vzor prostupuje z jedné střídý do druhé, u vzorů půdových je vzor plně ohraničen půdou tkaniny. U žakárských tkanin plošnou a prostorovou geometrii z pohledu provázání definuje kombinace vazeb umístěných v plochách vstupní figurální předlohy. Z pohledu tkacího stroje a definice prošlupního mechanismu je žakárská tkanina vyrobena na tkacím stroji se žakárským prošlupným ústrojím. Osnovní nit je individuálně ovládána přes nitěnku a zdvižnou šňůru platinou umístěnou ve skříní prošlupního mechanismu tkacího stroje. Počet platin prošlupního mechanismu určuje velikost vzoru co do počtu různě provazujících osnovních nití. Počet platin žakárského prošlupního ústrojí vychází z požadavku vzorování a typu aplikace žakárské tkaniny. Nejmenší počet platin žakárského prošlupního ústrojí je využíván při tkaní úzkých tkanin, popřípadě krajů, například pro tkaní jedno-střídivého vzoru se šířkou tkaniny 3cm je použito 128 platin (*Jakob Müller (Švýcarsko)* [2]). Naopak zástupce tkacích strojů pro výrobu širokých tkanin kobercových, nabízí pro tkaní tkaniny se šířkou 5m 31000 platin (*BONAS - VAN DE WIELE (Belgie)* [3]). Významným výrobcem žakárských prošlupních mechanismů kromě firmy BONAS – VAN DE WIELE je firma (*STÄUBLI (Švýcarsko)* [1]), kde jako příklad je uveden mechanismus typu LXXL s použitím maximálního počtu platin 25 600. Prezentace žakárských tkanin je uvedena na obr. 1.2 a 1.3.



Obrázek 1.2: Zobrazení žakárské tkaniny; a) 2D – jednoduché žakárské tkaniny, b) vazebná vzornice jednoduché žakárské tkaniny, c) příčný řez uvedené tkaniny.





Obrázek 1.3: Zobrazení žakárské tkaniny; a) 3D – čtyř-útková žakárská tkanina, b) vazebná vzornice čtyř-útkové žakárské tkaniny, c) podélný řez uvedené tkaniny.

## 2 Plošná geometrie listových a žakárských tkanin

Konstrukce tkaniny, která zahrnuje základní parametry vstupního materiálu a parametry tkaniny určuje základ definice plošné geometrie tkanin. Plošná geometrie tkaniny hodnotí tkaninu pouze z hlediska vnějšího uspořádání vstupních nití jak ve vzoru tkaniny, tak i v jednotlivých soustavách. Základem studia plošné geometrie tkanin je tzv. vazná buňka v půdorysném pohledu tvořená zakřížením nití charakteristickým pro plátňovou vazbu, viz obr. 2.1, a flotážním úsekem charakteristickým pro neplátňové vazby listové, (viz obr. 2.2) a žakárské, (viz obrázek 2.3). Plocha vazné buňky v plátňovém i neplátňovém provázání je dána plochou osnovních a útkových nití, které určují plošné zakrytí tkaniny. Plošné zakrytí tkanin jak listových, tak žakárských vychází z půdorysné plochy nití ve vazné buňce tkaniny definované jejím rozměrem, v daném případě rozestupem  $A, B$  (vycházející z dostavy osnovy a útku  $D_{1,2}$ ) a efektivního průměru osnovní nitě  $d_1$  a útkové nitě  $d_2$ , viz obr. 2.1. *Poznámka: Z rozměru celkového  $Ac, Bc$  vyjádřeného na celou střihu vazby/vzoru je možné na základě počtu nití ve střídě vazby/vzoru přepočítat na rozestup nití  $A, B$ .* Ve tkanině a její vazné buňce lze vyjádřit celkové zakrytí tkaniny dle vztahu (2.1) a dílčí zakrytí dané osnovní soustavou dle vztahu (2.2) a zakrytí útkovou soustavou dle vztahu (2.3). Pro plošnou porositu tkaniny vyjádřenou na základě plošného zakrytí platí vztah (2.4).

$$Z = \frac{\text{plocha osnovních a útkových nití}}{\text{plocha vazné buňky}} = \frac{d_1 \cdot A + d_2 \cdot B - d_1 \cdot d_2}{A \cdot B} = d_1 \cdot D_1 + d_2 \cdot D_2 - d_1 \cdot d_2 \cdot D_1 \cdot D_2, \quad (2.1)$$

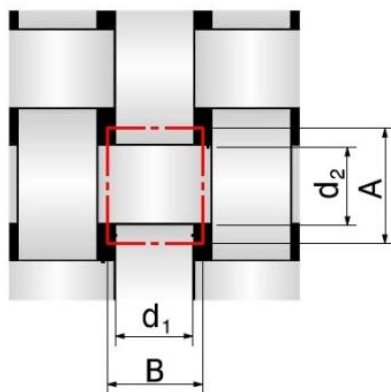
$$Z_1 = \frac{\text{plocha osnovní nitě}}{\text{plocha vazné buňky}} = \frac{d_1 \cdot A}{A \cdot B} = \frac{d_1}{B} = d_1 \cdot D_1, \quad (2.2)$$

$$Z_2 = \frac{\text{plocha útkové nitě}}{\text{plocha vazné buňky}} = \frac{d_2 \cdot B}{A \cdot B} = \frac{d_2}{A} = d_2 \cdot D_2. \quad (2.3)$$

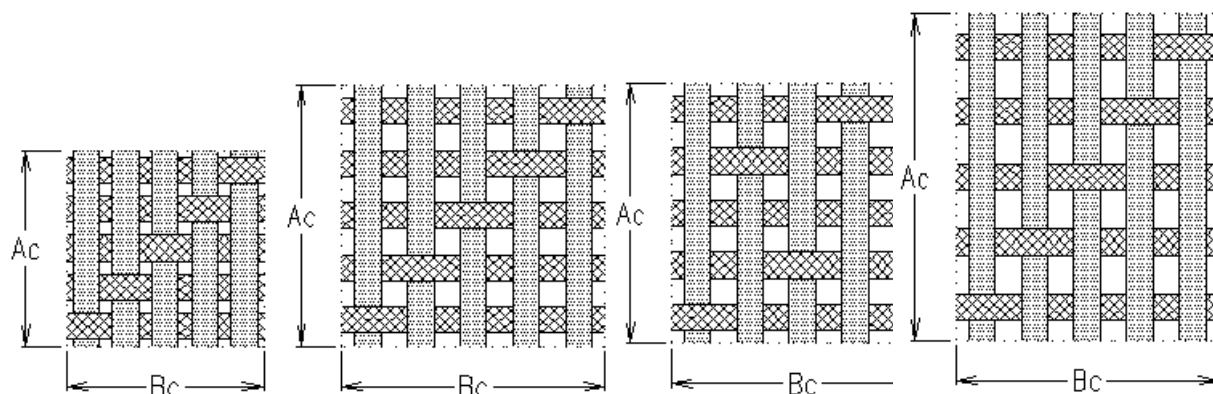


$$P = 1 - (d_1 \cdot D_1 + d_2 \cdot D_2 - d_1 \cdot d_2 \cdot D_1 \cdot D_2) \quad (2.4)$$

Neplátňové provázání listových i žakárských tkanin je charakteristické velikostí střídý vazby/vzoru a vnitřním uspořádáním vazných bodů ve střídě vazby/vzoru. Výchozí představa plošné geometrie je v podstatě plošný model tkaniny, v němž jsou všechny vazné body v jedné rovině, viz obr. 2.1-2.3.

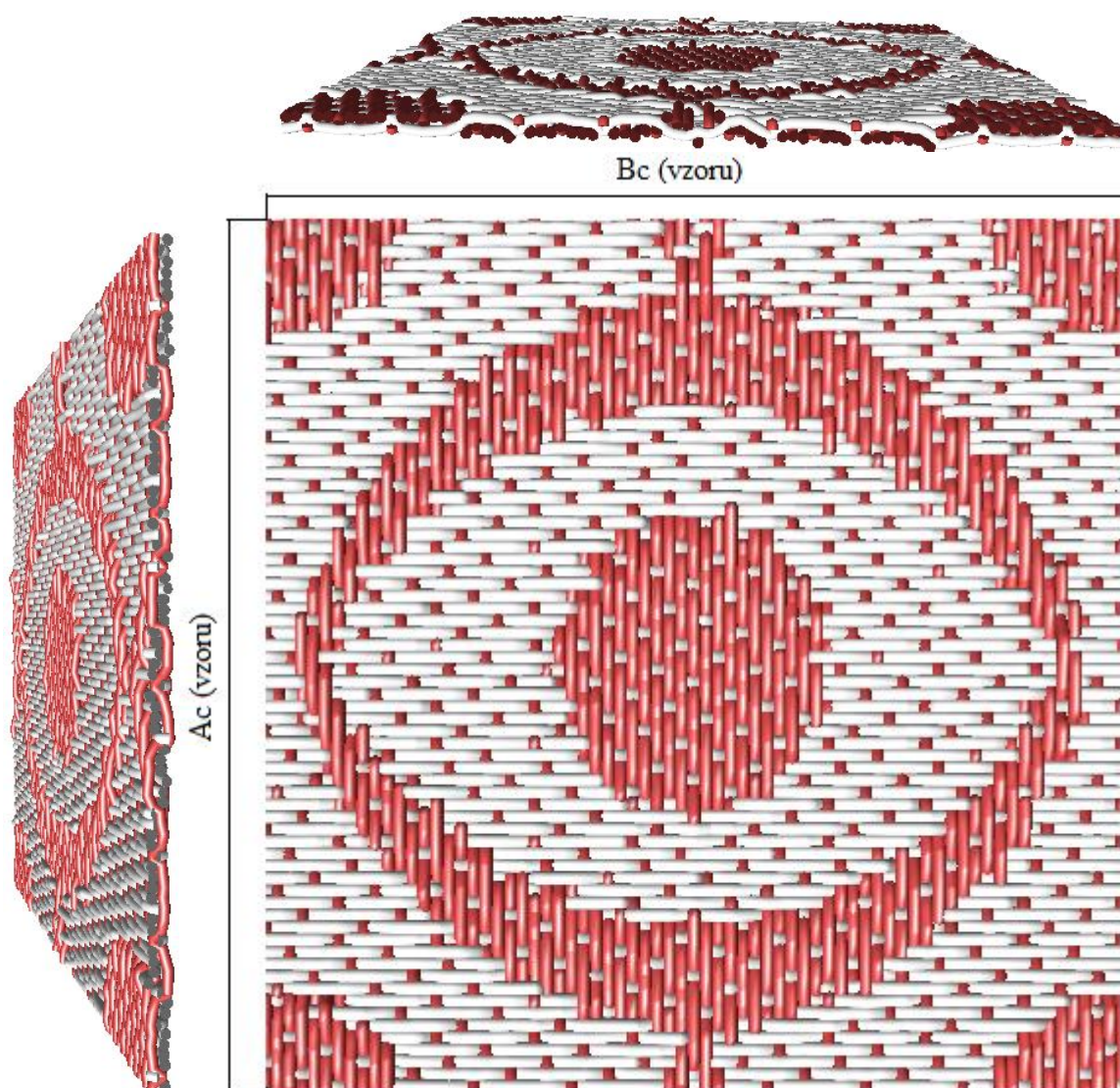


Obrázek 2.1: Zobrazení plošné geometrie tkaniny v plátňové vazbě

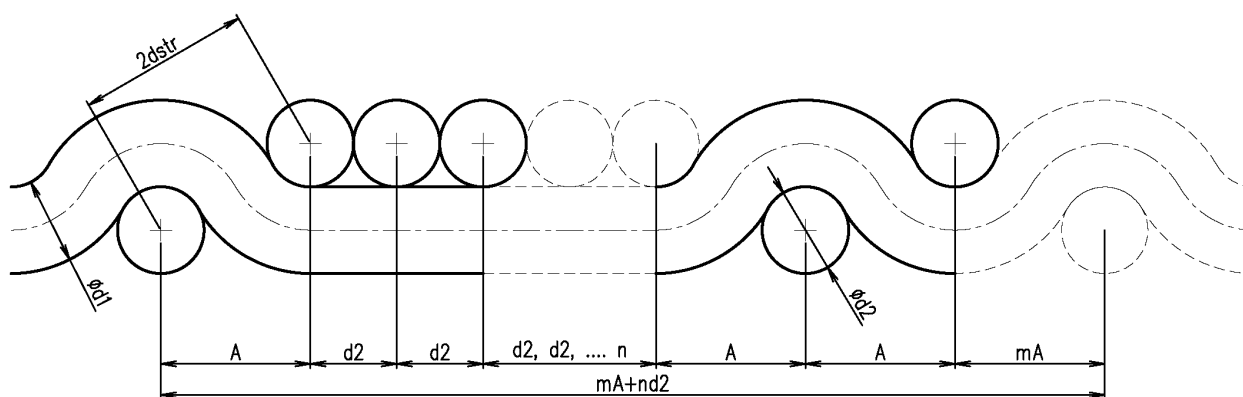


Obrázek 2.2: Zobrazení plošné geometrie tkaniny v neplátňové vazbě v závislosti na dostavě nití [30]

Plošný model je tvořen kombinací určitého počtu zakřížení osnovních a útkových nití a flotážních – neprovazujících nití s definovaným efektivním průměrem nitě osnovní  $d_1$  a útkové  $d_2$  a rozestupem osnovních a útkových nití  $B$ ,  $A$ . Na obr. 2.4 je uveden zidealizovaný teoretický model příčného řezu tkaninou v těsném provázání pro obecnou neplátňovou vazbu pro stanovení maximálně dosažitelné dostavy nití ve tkanině. Těsné provázání v místě křížení nití vznikne, když jsou nitě k sobě sraženy natolik, že se mezi ně vejde pouze průměr jádra druhé provazující nitě bez definice volného úseku. V místě flotáže těsné provázání vzniká maximálním přiblížením nití bez definice volných úseků mezi nimi, viz obr. 2.4.



Obrázek 2.3: Zobrazení plošné geometrie žakárské tkaniny



Obrázek 2.4: Zobrazení příčného řezu geometrie těsného provázání obecnou neplátnovou tkaninou použitou v listových i žakárských tkaninách [30]



## 2.1 Definice vstupních parametrů plošné geometrie listových a žakárských tkanin

Obecně údaje plošné geometrie tkaniny definuje desinátér připravující konstrukci a výrobu tkaniny určenou pro zadanou aplikaci. Základní parametry plošné geometrie jsou: a) definice parametrů vstupních nití (materiál, jemnost), b) definice dostavy jednotlivých nití ve tkanině, c) definice provázání nití: listové tkaniny – definice vazby, žakárské tkaniny – definice vstupního figurálního obrazce a kombinaci vazeb podílejících se na provázání nití ve tkanině.

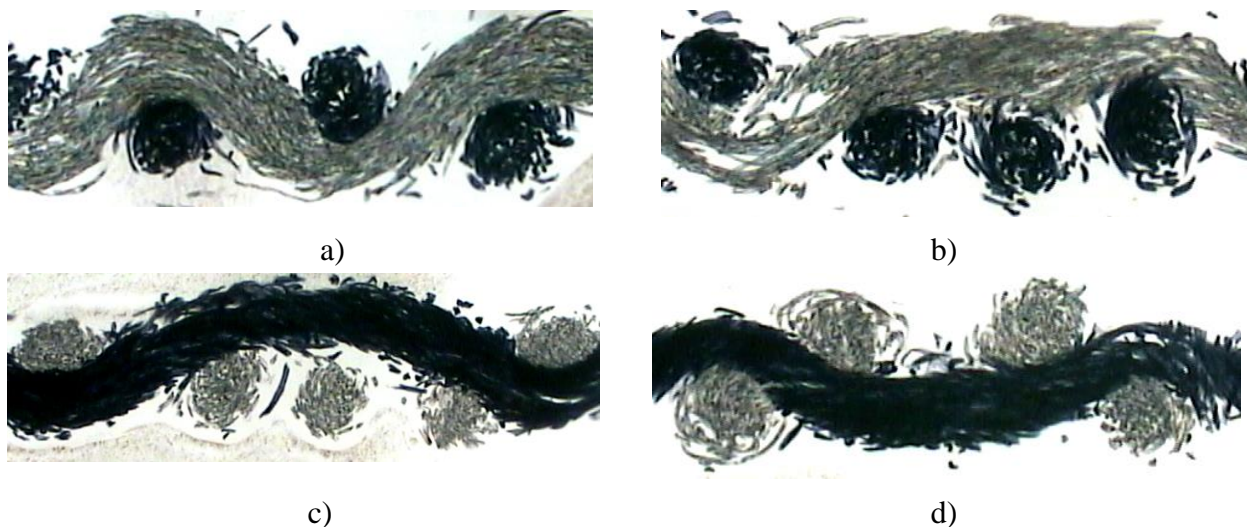
Parametry, struktura a geometrie vstupních nití použitých pro výrobu tkanin vychází z materiálových a technologických možností výroby délkových útvarů. Rozlišujeme tři základní typy vstupních délkových textilií použitelných pro technologii tkaní: přízi, multifil, monofil. Každý z těchto uvedených délkových útvarů má charakteristické parametry ovlivňující jak zpracovatelské, tak finální mechanické i užité vlastnosti. Z hlediska plošné geometrie je pro výpočet základních parametrů konstrukce tkaniny prioritní definice jemnosti a materiálu vstupních nití pro osnovní a útkovou soustavu. Na základě jemnosti nití a hustoty vláken je možné vyjádřit stěžejní parametr – průměr přízi, s jehož využitím lze matematicky stanovit dostavu nití ve vztahu s provázáním nití. Byla vytvořena celá řada příspěvků zaměřených na definici a popis průměru nitě volné a zatkané ve tkanině (*Neckář* [4], *Nosek* [5], *Kemp* [6], *Hearle* [7], *Milašius* [8], *Ozgen* [9], *Masajtis* [10]). Pro definici plošné i prostorové geometrie tkaniny je v této práci použit efektivní průměr osnovní  $d_1$  a útkové  $d_2$  nitě vyjádřený na základě kruhového průřezu efektivního jádra příze tvořeného vlákny, zohledněného definovaným zaplněním (*Neckář* [3]) dle vztahu (2.5), (uvedeno bez odvození). Substanční průměr osnovních  $ds_1$  a útkových  $ds_2$  nití kruhového průřezu je následně vyjádřen vztahem (2.6). Ve vztahu ke geometrii tkanin je průměr nitě vyjádřen nejčastěji v [mm] případně v [μm]. Pro modelování geometrie tkanin je z průměru osnovních a útkových nití odvozen střední průměr nití daný vztahem (2.7). Základní parametry definující efektivní průměr nitě vycházejí z jemnosti osnovních  $T_1$  a útkových  $T_2$  nití, hustoty vláken osnovní  $\rho_1$  a útkové  $\rho_2$  nitě, zaplnění osnovní  $\mu_1$  a útkové  $\mu_2$  nitě.

$$d_{1,2} = \sqrt{\frac{4T_{1,2}}{\pi \cdot \mu_{1,2} \cdot \rho_{1,2}}} \quad (2.5)$$

$$ds_{1,2} = \sqrt{\frac{4T_{1,2}}{\pi \cdot \rho_{1,2}}} \quad (2.6)$$

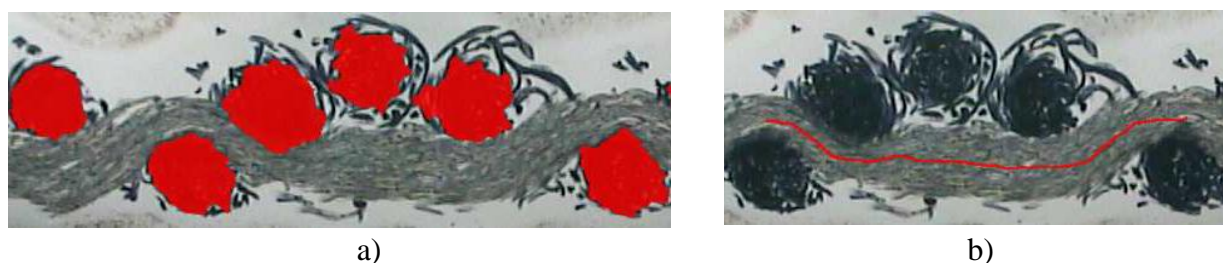
$$d_{str} = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (2.7)$$

Možné použití efektivního průměru kruhového tvaru (vztah 2.5) při modelování geometrie tkaniny plyne z parametrů vstupního materiálu. Sledování a analýzu průřezu zatkané nitě v jakékoli její poloze ve tkanině je možné hodnotit na základě experimentální analýzy příčných řezů tkaninou pomocí obrazové analýzy 2D a 3D obrazu tkaniny – řezy vytvořeny metodou měkkých a tvrdých řezů (*Kolčavová, Vyšanská* [38]), viz obr. 2.5, 2.6, 2.7 nebo použitím výpočetní tomografie – zobrazování v řezech (*Computed Tomography-CT*), viz obr. 2.3b, 2.4. CT je strukturní zobrazování objektu bez fyzického narušení daného celku pomocí rentgenového záření.

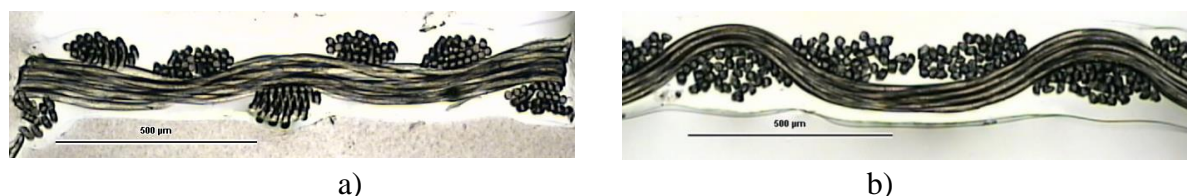


Obrázek 2.5: Podélný a příčný řez reálnou tkaninou z přízí; a) podélný řez tkaninou v plátně, b) podélný řez reálnou keprovou tkaninou K1/2(Z), c) příčný řez reálnou keprovou tkaninou K1/2(Z), d) příčný řez reálnou keprovou tkaninou K1/3(Z) [30]

Jak je patrné z obr. 2.5, 2.6, 2.8 zobrazujících příčné řezy tkaninou vyrobené z přízí (bavlněných), příze v závislosti na zákrutu, zaplnění a technologii výroby může nabývat ve tkanině průřez kruhového tvaru. Naopak multifil ve tkanině, z důvodu rozdílného uspořádání vláken a z důvodu nulového nebo ochranného zákrutu, nabývá elipsovitého tvar (tento tvar je charakteristický také pro volný stav multifilu před tkaním), viz obr. 2.7, 2.49. Změna tvaru multifilu z elipsovitého na kruhový průřez může být ovlivněna použitím vyššího počtu zákrutů v multifilu.

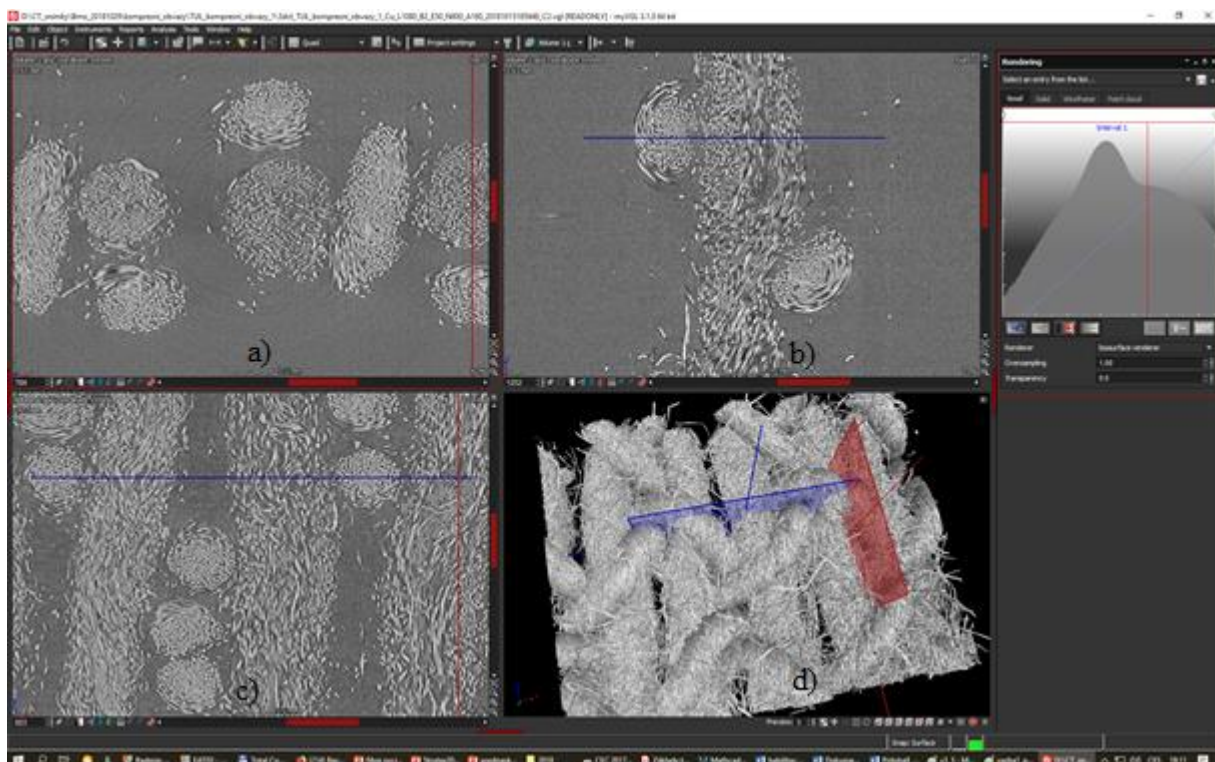


Obrázek 2.6: Podélný řez reálnou keprovou tkaninou K 1/3(Z); a) analýza průřezu útkových nití, b) analýza vazné vlny osnovní nitě ve střídě kepru K1/3(Z) [30]



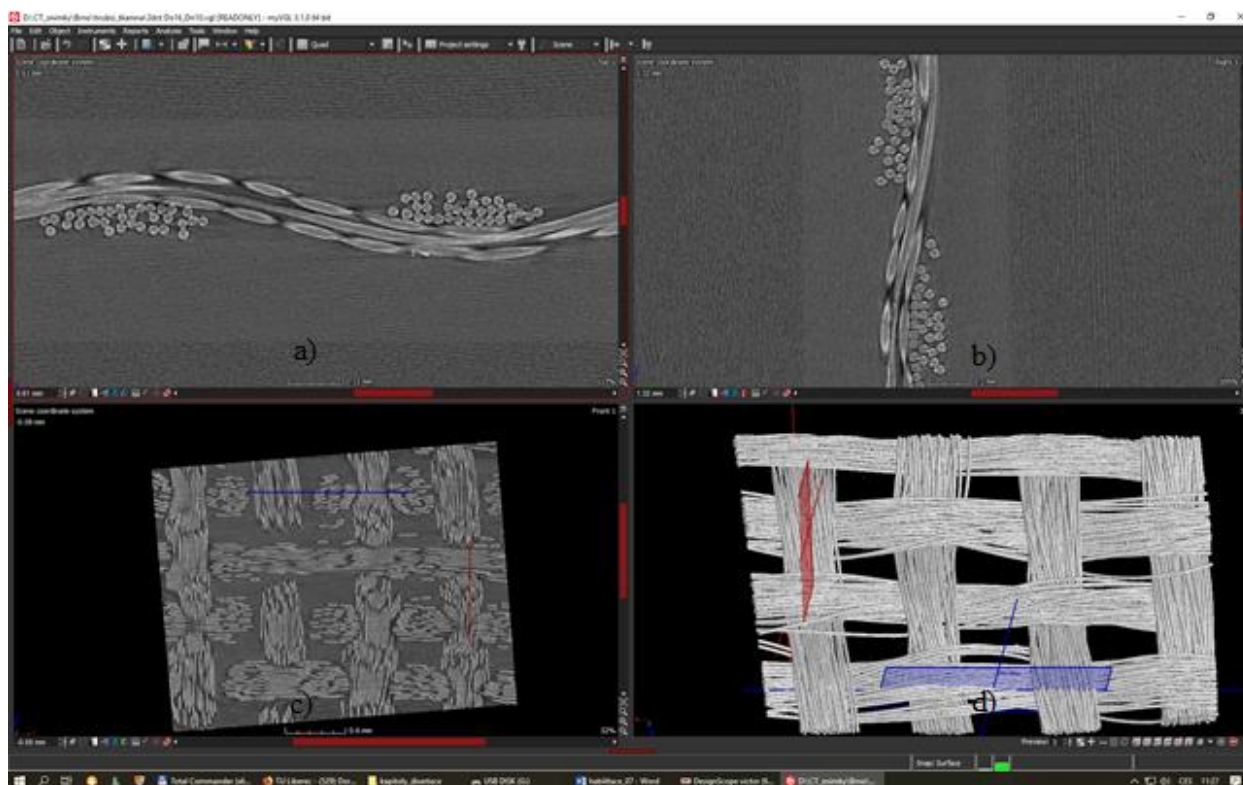
Obrázek 2.7: Podélný a příčný řez reálnou tkaninou z multifilu; a) příčný řez tkaninou v kepru K1/2(Z), b) podélný řez tkaninou v kepru K1/2(Z) [48]

Snímky pořízené pomocí CT včetně 3D projekce je možné použít pro objasnění a definici morfologie tkaniny – průřezu (průměru) osnovních a útkových nití. Z 3D zobrazení tkaniny je možné hodnotit: průřez osnovních nití v příčném pohledu (x-osa, místo červeně zobrazené ve tkanině), průřez útkové nitě v podélném řezu (y-osa, místo modře zobrazené ve tkanině), tloušťku tkaniny. Takto definovanou morfologii, jak přízí, tak i výsledné tkaniny, lze aplikovat při modelování chování tkanin pomocí numerických modelů, využívajících metod konečných prvků. Na základě 3D vizualizace tkaniny je možné hodnotit deformaci průřezu nití v provázání v různých místech vazné vlny – v místě zakřížení nití i v místě flotáže.



Obrázek 2.8: Zobrazení reálné tkaniny pomocí výpočetní tomografie (*Computed Tomography-CT*), tkanina v plátňové vazbě vyrobené z bavlněných přízí v osnově se zákrutem 2220/m a v útku se zákrutem 700/m, a) podélný řez tkaninou, b) příčný řez tkaninou, c) řez tloušťkou tkaniny, d) prostorový pohled tkaniny





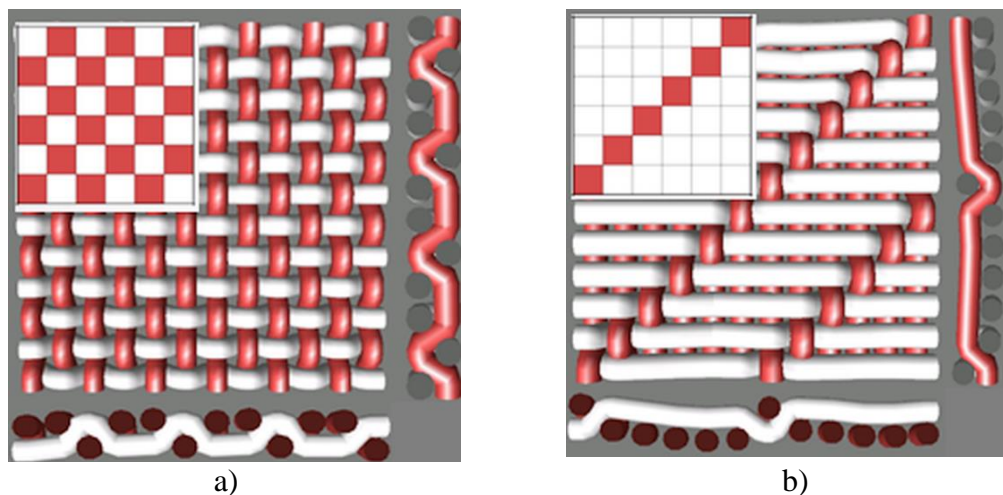
Obrázek 2.9: Zobrazení tkaniny pomocí výpočetní tomografie (*Computed Tomography-CT*),  
 tkanina z polypropylénového multifílu s ochranným zákrutem 120/m v osnově i v útku,  
 a) podélný řez tkaninou, b) příčný řez tkaninou, c) řez tloušťkou tkaniny, d) prostorový pohled  
 tkaniny

## 2.2 Vyjádření provázání nití ve tkanině listové a žakárské

Základní definice vazby z pohledů autorů se různí. Vazba je definovaná jako způsob vzájemného provázání nití se zaměřením na vzorování (*Bednář, Svatoš* [11], *Moravec, Hruša* [12], *Talavášek* [13]). Základní rozdělení vazeb autoři uvádí dle skupin základních vazeb, odvozených vazeb od základních vazeb, libovolně sestavených vazeb, vzorovaných vazeb, atd. Výzkumem v oblasti provázání nití ve tkanině, definicí strukturálního uspořádání vazných bodů ve střídě základních vazeb a vybraných odvozených vazeb se zabývali i jiní autoři (*Brierley* [14], *Ashenhurst* [15], *Law* [16], *Armitage* [17], *Milasius* [18], [19]). Výzkumný přístup v uvedených příspěvcích je ryze experimentální. Na sadě experimentálně realizovaných vzorků je odvozena teorie stupně provázání flotážních vazeb v porovnání se základní plátnovou vazbou. Výzkum v oblasti definice provázání a struktury žakárských tkanin je minimální, v minulosti zaměřen zcela na vzorování žakárských tkanin (*Dufek* [20]).

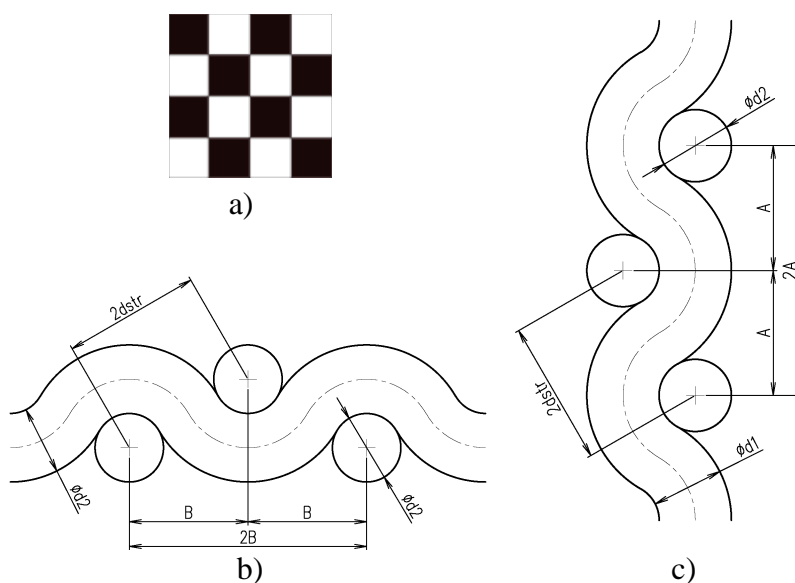
Pro vazbu tkaniny (listovou i žakárskou) je charakteristická její pravidelně se opakující část – střída. Střidu každého vzoru je možné definovat na základě její velikosti a složitosti v příčném i v podélném směru. Oba uvedené parametry ovlivňují výslednou strukturu tkaniny jak z hlediska uživatelských, tak i mechanických vlastností. Možným a nejčastějším způsobem vyjádření velikosti i složitosti provázání je plošné zobrazení do rastru – rozkreslení jednotlivých vazných bodů do vzornice v ploše, viz obr. 2.10. Uvedené rozkreslení z hlediska plošné geometrie je využito v konstrukci tkaniny v rámci přípravy technické vzornice. Druhým, méně častým,

zobrazením provázání je zobrazení vazby v řezu (podélném i příčném) – vyjádření konkrétního pohledu vnitřního uspořádání nití jedné soustavy vůči druhé soustavě. Uvedeným zobrazením je možné vyjádřit prostorovou geometrii tkaniny, viz obr. 2.10. Rozbor prostorové geometrie bude popsán v dalších kapitolách této práce.



Obrázek 2.10: Zobrazení plošného rozložení vazby, zobrazení vazby v příčného a podélného řezu modelovou tkaninou; a) plátnová vazba, b) keprová vazba základní K1/5 (Z) [30]

Obecně, vazba svým rozložením osnovních a útkových nití vytváří symetrické a nesymetrické usprádaní vazných bodů v ploše své střidy. Symetrické vazby jsou charakteristické tím, že provázání ve směru osnovních nití je shodné s provázáním ve směru útkových nití. Základní skupinou symetrických vazeb jsou vazby základní (viz obr. 2.11), a malá část vazeb odvozených od základních vazeb.

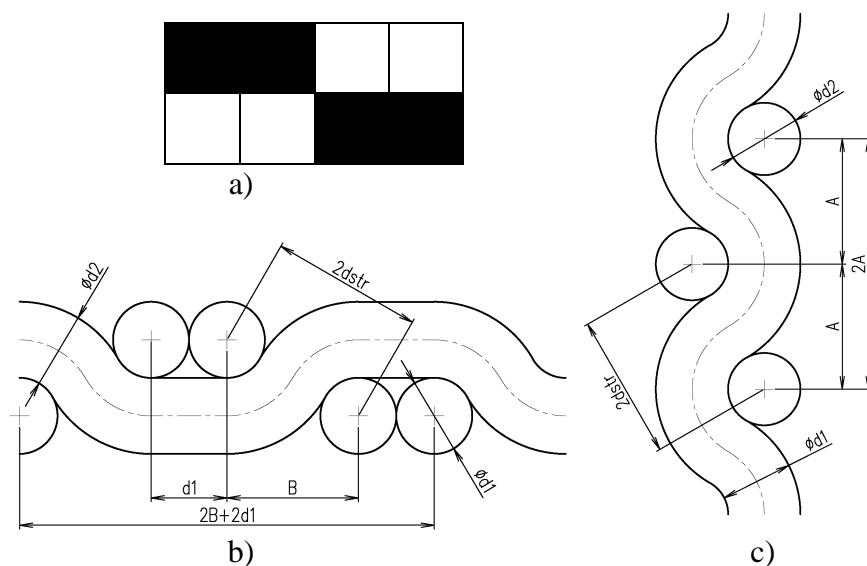


Obrázek 2.11: Zobrazení plošné a prostorové geometrie tkaniny symetrických vazeb plátnové vazby, a) plošné zobrazení vazby, b) podélný řez geometrie těsného provázání plátnové vazby, c) příčný řez geometrie těsného provázání plátnové vazby [30]

U základních vazeb proměnnou, která vazby mezi sebou odlišuje je úsek flotáže. Konstantní částí je úsek zakřížení, který mají všechny základní vazby stejný (dvě zakřížení na střidu vazby). Při zachování stejných parametrů tkaniny v osnově i v útku je možné předpokládat, že výsledná

struktura tkaniny bude dosahovat stejných vlastností v jednotlivých směrech, tj. vazba symetrická, viz obr. 2.11, do struktury vnáší izotropní charakter.

Nesymetrické vazby jsou charakteristické tím, že provázání ve směru osnovních nití není shodné s provázáním ve směru útkových nití. U nesymetrických vazeb jsou proměnné jak části zakřížených úseků, tak části flotáže. Existuje „X“ kombinací neprovazujících a křížících úseků nití v ploše střídy, a proto můžeme vytvořit „X“ výsledných způsobů provázání, bez ohledu na jejich pojmenování. Výsledná struktura tkaniny z pohledu asymetrických vazeb, viz obr. 2.12, bude charakteru anizotropního. Nejčastěji používanou vazbou této skupiny jsou vazby rypsové.

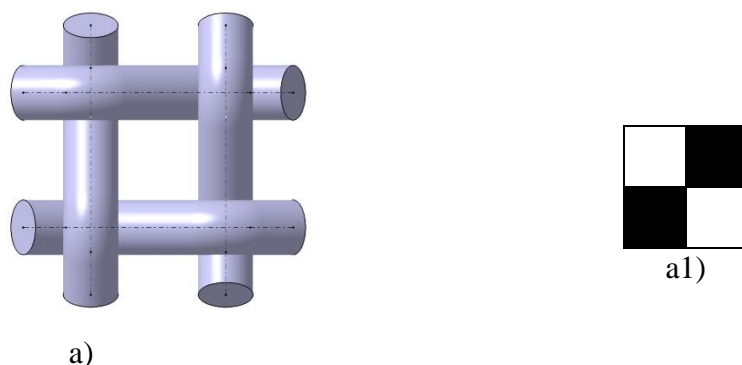


Obrázek 2.12: Zobrazení plošné a prostorové geometrie tkaniny asymetrických vazeb

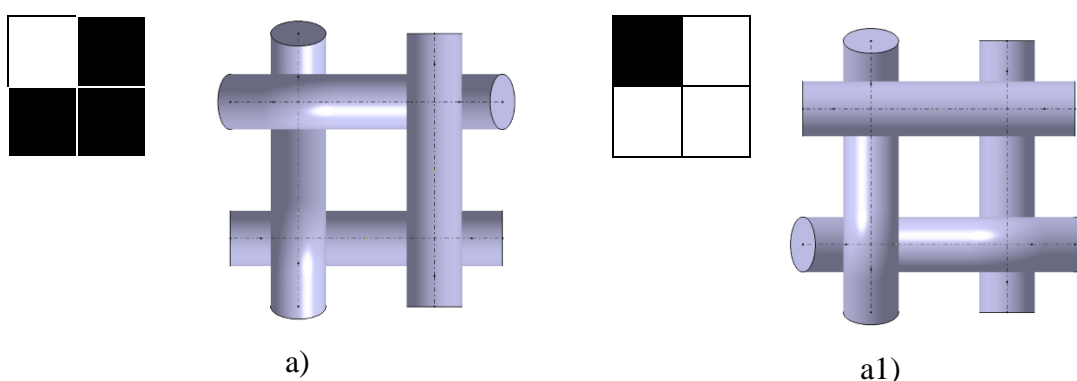
a) plošné zobrazení vazby, b) podélný řez geometrie těsného provázání asymetrické vazby, c) příčný řez geometrie těsného provázání asymetrické vazby [30]

Základním prvkem tkaniny je vazný bod, osnovní nebo útkový, definovaný na základě polohy osnovní a útkové nitě z pozice líce tkaniny. Analýzou a popisem vazného bodu definovaného pro oblast jednoho zakřížení nití ve tkanině se zabývali i jiní autoři (Peirce [21], Olofsson [22], Nosek [5]). Z pohledu struktury a geometrie tkanin platí, že tkanina jako soudržný systém je dána vzájemnou silovou interakcí mezi nitěmi osnovní a útkové soustavy, která vzniká vzájemným překřížením těchto nití. U flotáže je možné základní element tkaniny – vazný bod definovat také, ale flotážní postavení osnovního a útkového vazného bodu nevytváří silovou interakci, vzájemná soudržnost soustav nití ve tkanině je nulová (jako příklad nulové soudržnosti soustav nití lze uvést kladenou mřížku – struktura dvou na sebe kolmých soustav nití vzhledem k provázání je definovaná nekonečnou flotáží, opačnou situaci s maximální soudržností nití vytváří plátnové provázání nití ve tkanině). Provázání nití vytvořené jak způsobem křížení, tak flotáží je možné definovat na základě způsobu provázání dvojice sousedících nití v osnově a v útku. Tato dvojice může, z hlediska polohy vytvořit osnovní efekt nití nebo útkový efekt. Ve skutečnosti existují v sousedství dvou nití pouze čtyři strukturální vazné buňky (prvky) provázání nití ve tkanině, na základě kterých je možné sestavit všechny listové a žakárské vzornice tkaniny. Využitím strukturálních buněk provázání nití ve tkanině z pohledu buňky jako prostorového póru se zabývali autoři (Szosland [23], Backer [24], Havlová [25]). Póry strukturálních buněk autoři využili v hodnocení chování základních tkanin z pohledu pórovitosti a propustnosti bez bližší specifikace

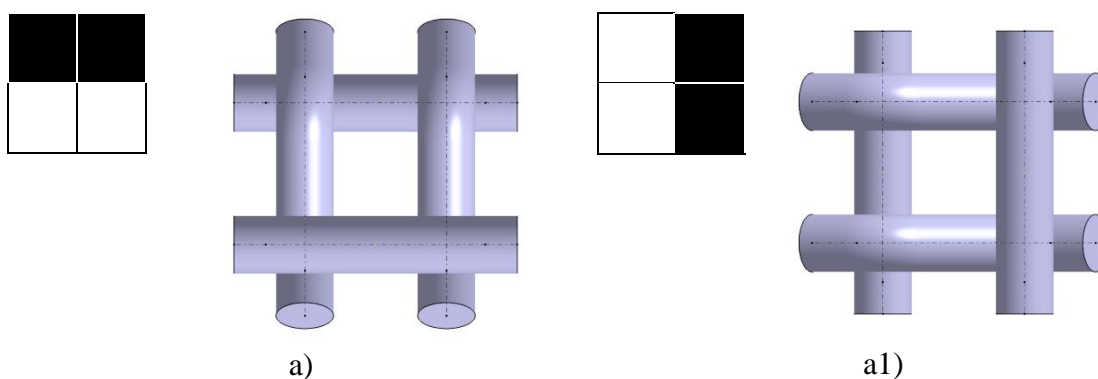
konstrukce, geometrie a obecného rozložení pórů v ploše střidy vazby listových a žakárských tkanin. Plošné i prostorové znázornění strukturálních buněk provázání nití ve tkanině je uvedeno na obr. 2.13–2.16. Zobrazení strukturálních buněk je uvedeno jak pro osnovní efekt, tak i útkový efekt buňky. Na základě analýzy strukturálních buněk provázání nití se vytváří nový přístup při identifikaci provázání nití v plošné geometrii tkanin listových a žakárských. Podrobnější definice a analýza jednotlivých strukturálních buněk spolu s geometrickým rozbořem rozestupu nití je rozpracovaná v následující kapitole.



Obrázek 2.13: Strukturální buňka provázání P1 „plné zakřížení nití“ (jedná se o oboustrannou buňku); a) prostorové zobrazení buňky, a1) plošné zobrazení buňky [56]

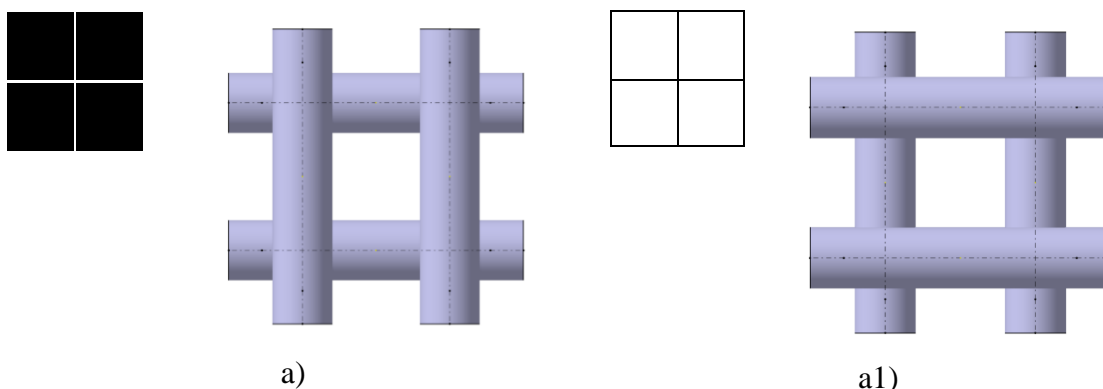


Obrázek 2.14: Strukturální buňka provázání P2 „poloviční (částečné) zakřížení nití vzhledem k celé buňce“; a) prostorové a plošné zobrazení buňky v osnovním efektu, a1) v útkovém efektu [56]



Obrázek 2.15: Strukturální buňka provázání P3 „třetinové zakřížení nití vzhledem k celé buňce“ (tzv. zdvojené provázání) - jedná se o oboustrannou buňku směrovou;

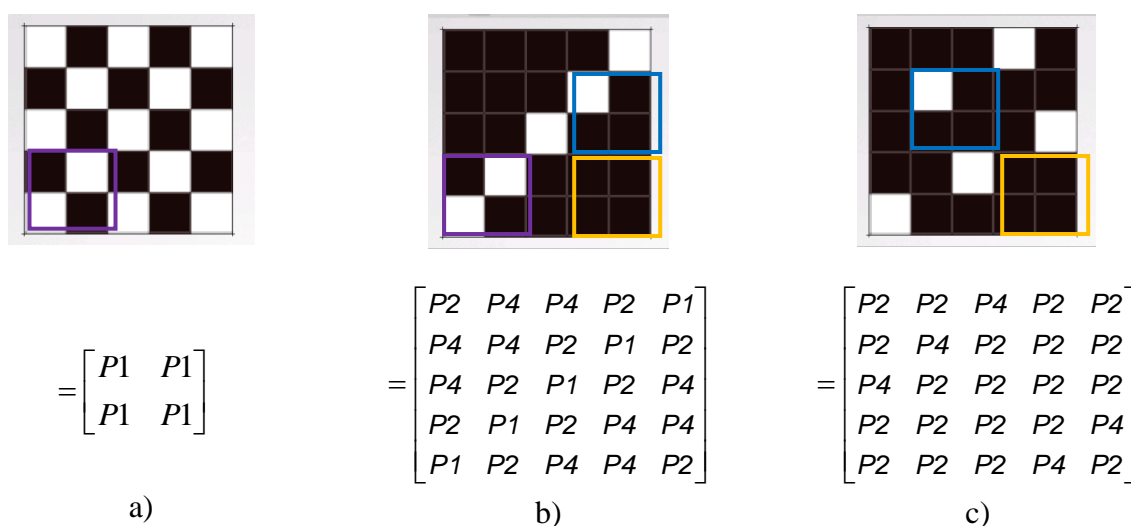
- a) prostorové a plošné zobrazení buňky pro zakřížení v podélném směru, a1) v příčném směru [56]



Obrázek 2.16: Strukturální buňka provázání P4 „plná flotáž nití v buňce“

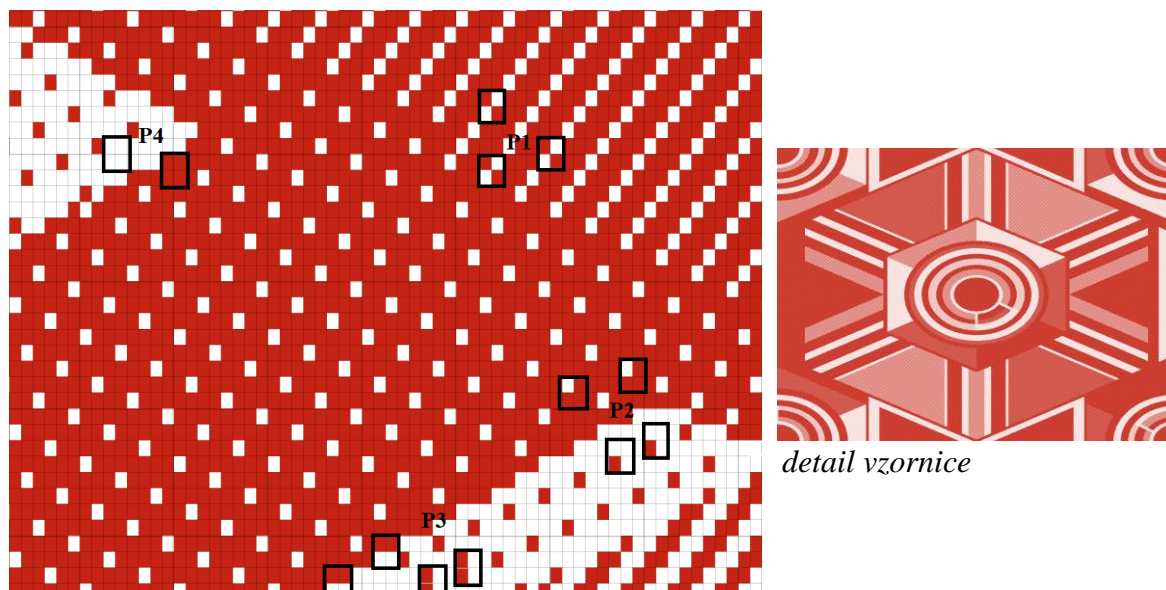
- a) prostorové a plošné zobrazení buňky v osnovním efektu, a1) v útkovém efektu [56]

Na základě návrhu, je možné zavedením výše uvedených čtyř strukturálních buněk provázání do definice plošné geometrie vazbu znázornit maticovým způsobem, který umožní v rámci popisu konstrukce tkaniny blíže nahlédnout do struktury provázání. Velikost dané matice vychází z velikosti střidy vazby. Počet osnovních nití ve střídě vazby určuje počet řádků a počet útkových nití ve střídě počet sloupců. Prvky matice vycházejí ze vzájemného provázání dvojic nití osnovní a útkové soustavy dle zavedených strukturálních buněk. Maticový zápis zástupců vazeb listových základních pro střidu vazby: plátna P1/1, kepru K 1/4 (Z) a atlasu A 1/4 (2) je uveden na obr. 2.17. Znázornění jednotlivých strukturálních buněk ve vzornici žakárské tkaniny je uvedeno na obr. 2.18.



Obrázek 2.17: Maticový zápis stříd vazeb tkaniny; a) plátna P1/1, b) kepru K 1/4 (Z), c) atlasu A 1/4 (2), Barevný význam vyznačení buňky ve vzornici P1, P2, P4, buňky P3 nejsou ve vazbě obsaženy

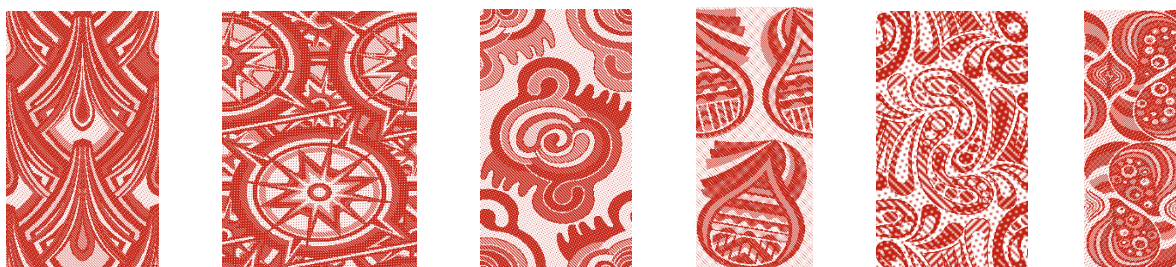




Obrázek 2.18: Znázornění strukturálních buněk provázání P1-P4 ve vzornici žakárské tkaniny  
Velikost střídy:  $n_1=1200$ ,  $n_2=880$ , celkový počet buněk provázání 1056000, z toho:  
P1: 45775 P2: 613028 P3: 13710 P4: 383487

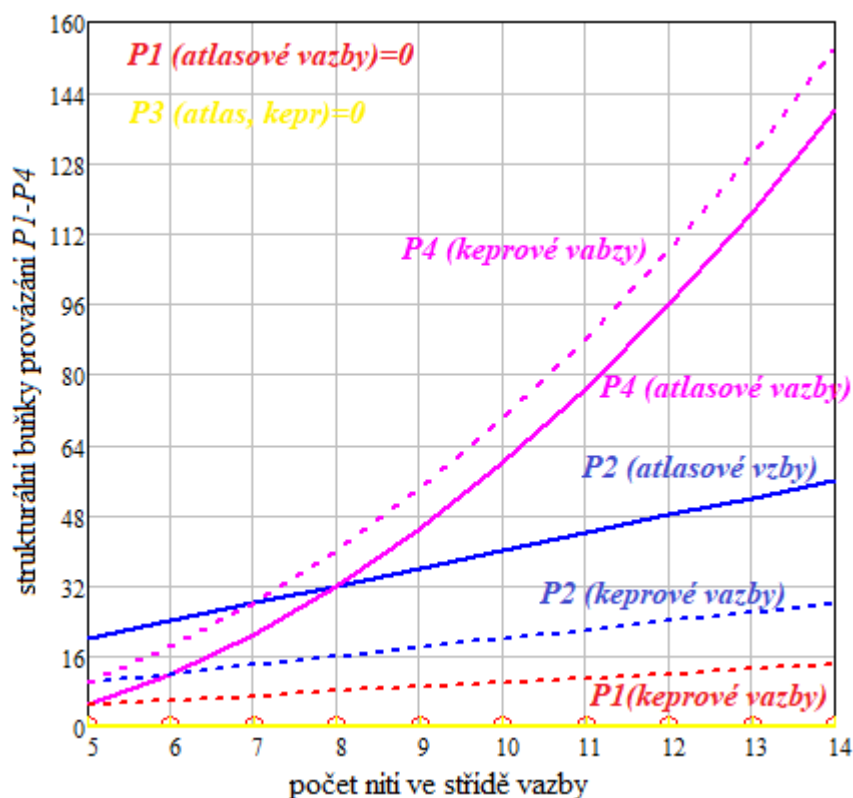
Jak už bylo uvedeno výše, každá vazba je dána uspořádáním strukturálních buněk provázání P1- P4 ve střídě vazby. Z obr. 2.20 je patrné, že základní vazby atlasové jsou charakteristické svým rovnoměrným rozložením vazných bodů na základě postupného čísla. Vazné body se nedotýkají, na struktuře střídě vazby tkaniny se nepodílí strukturální buňka P1, což je plně zakřížený vazný bod. Soudržnost atlasové tkaniny je daná kombinací buněk P2 a P4 a použitím vyšší dostavy nití ve tkanině, která plyne právě z provázání těchto strukturálních buněk, na rozdíl od keprových vazeb, na kterých se podílí buňky P1, P2, P4. Strukturální buňka P1, vytvořená plně zakříženým vazným bodem, zajišťuje vyšší soudržnost při nižších dostavách nití ve tkanině.

Pro rozbor strukturálních buněk provázání nití v žakárských tkaninách byla použita sada vzorů uvedených na obr. 2.19. U žakárských tkanin s definovanou velikostí střídě bylo použito pro provázání kombinace základních a odvozených vazeb atlasových osmivazných. Rozbor a výčet jednotlivých strukturálních buněk provázání P1-P4 pro definované žakárské vzornice je uveden na obr. 2.21.

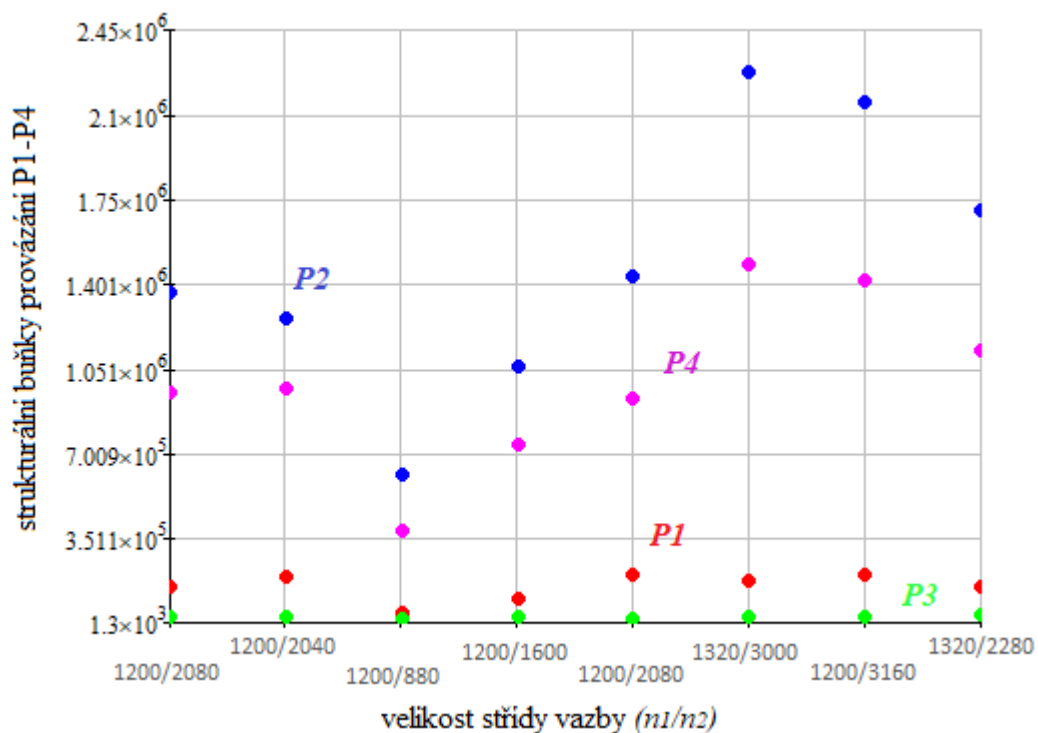


Obrázek 2.19: Znázornění vzornic žakárských tkanin pro rozbor strukturálních buněk provázání P1-P4





Obrázek 2.20: Zobrazení počtu strukturalních buněk provázání P1-P4 pro základní keprové a atlasové střídě vazby (čárkovaná čára=kepr, plná čára=atlas)

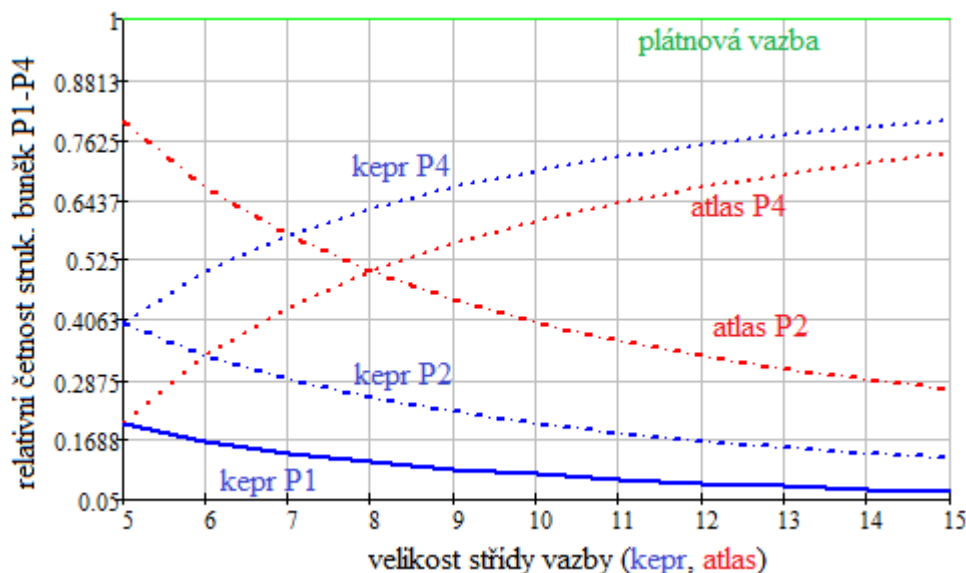


Obrázek 2.21: Zobrazení počtu strukturalních buněk provázání P1-P4 pro střídě vzornice žakárských tkanin uvedených na obr. 2.19

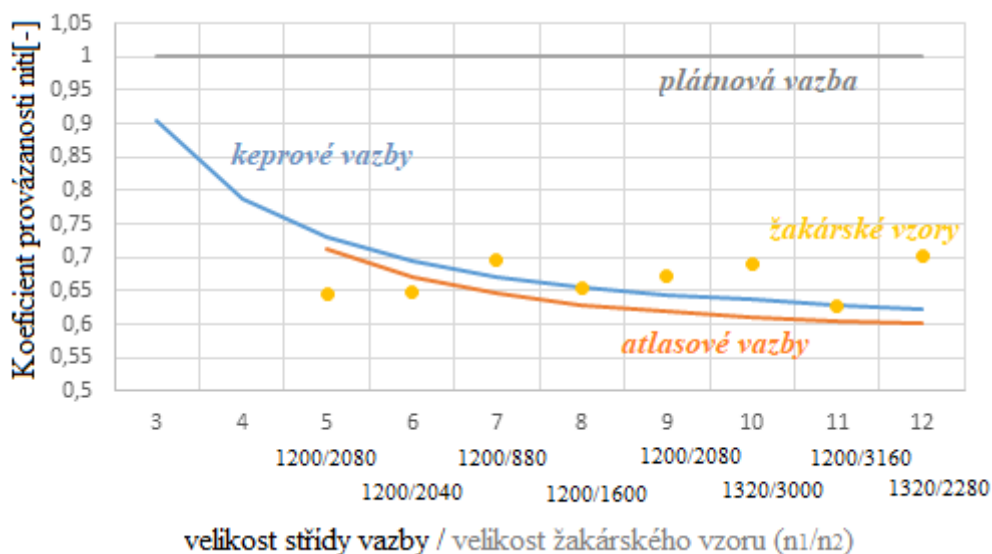
Distribuce jednotlivých strukturálních buněk provázání jak pro listové, tak žakárské tkaniny je možné hodnotit na základě relativní četnosti strukturálních buněk (vztah 2.8) vztažené k velikosti celé střídy. Celkový počet strukturálních buněk provázání v ploše střídy je dán součinem  $n_1 \times n_2$ , který plyne z velikostí střídy definované počtem osnovních  $n_1$  a útkových nití  $n_2$ . Relativní četnost  $RČ(P1-P4)$  jednotlivých strukturálních buněk provázání v ploše střídy je definována dle vztahů (2.8).

$$RČ(P1) = \frac{\sum P1}{n_1 \cdot n_2}, \quad RČ(P2) = \frac{\sum P2}{n_1 \cdot n_2}, \quad RČ(P3) = \frac{\sum P3}{n_1 \cdot n_2}, \quad RČ(P4) = \frac{\sum P4}{n_1 \cdot n_2}. \quad (2.8)$$

Z pohledu provázání nití platí: ve strukturálních buňkách provázání, u kterých je vzájemné provázání dvojice nití definováno zakřížením nití, v místě křížení dochází ke vzájemné silové interakci mezi nitmi osnovní a útkové soustavy, čímž je zajištěna výsledná soudržnost tkaniny. Ve strukturálních buňkách provázání, u kterých je vzájemné provázání dvojice nití definováno pouze flotáží nití nedochází ke vzájemné silové interakci mezi nitěmi osnovní a útkové soustavy, čímž výsledná soudržnost tkaniny klesá. Hodnota vypočítané relativní četnosti jednotlivých strukturálních buněk provázání může vyjadřovat míru podílu provázání na soudržnosti tkaniny bez ohledu na další konstrukční parametry tkaniny, viz obr. 2.22. Na obr. 2.23 je následně vyjádřený přepočítaný koeficient provázanosti flotážních vazeb v porovnání s maximálně provázanou vazbou plátňovou včetně koeficientu provázanosti žakárských tkanin dle definované vzornice, viz obr. 2.20.



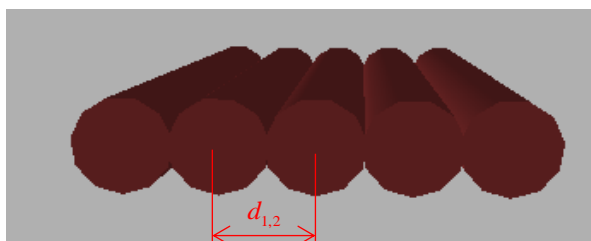
Obrázek 2.22: Vyjádření relativní četnosti jednotlivých strukturálních buněk provázání pro střídy základní vazby keprové a atlasové



Obrázek 2.23: Zobrazení koeficientu provázanosti nití definujícího soudržnost tkaniny z pohledu provázání ve tkaninách listových (základních keprových a atlasových) a žakárských

## 2.3 Vyjádření dostavy nití ve tkanině

Dostava osnovních a útkových nití vyjadřuje počet nití na určitou délku podle ČSN 1049-2 (800814) (mod ISO 7211 – 2:1984). Dostava nití ve tkanině je definovaná zvlášť pro osnovní a zvlášť pro útkovou soustavu nití s označením:  $D_1$ ,  $D_2$ . Dostava nití vyjadřuje počet nití na jednotku délky nejčastěji [ $cm^{-1}$ ] nebo [ $dm^{-1}$ ] případně [ $m^{-1}$ ]. Těsné postavení nití v jedné rovině dle obr. 2.24 stanovuje maximální počet nití, který je možné bez provázání na základě průměru nití vložit do plochy vláknenného útvaru. Představuje stoprocentní zaplnění daného útvaru.



Obrázek 2.24: Těsné postavení nití v jedné rovině bez provázání [56].

Rozestup nití těsného postavení nití je definován průměrem nití. Pro dostavu těsně postavených nití v podélné a příčné soustavě bez provázání pak platí vztah (2.9)

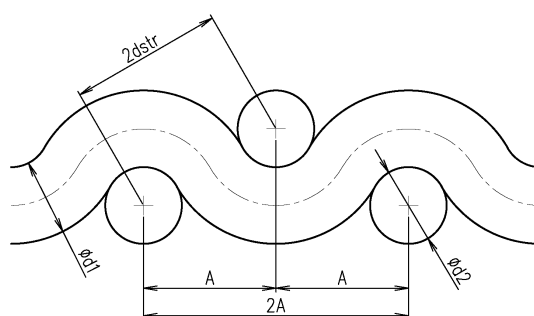
$$D_{\lim(1,2)} = \frac{1}{d_{1,2}}. \quad (2.9)$$

Pro plošnou geometrii tkaniny je výchozí těsné postavení nití definováno pro oblast jednoho zakřížení odpovídající plátnovému provázání, viz obr. 2.25. Geometrie neplátnových vazeb provázání je odvozena od těsného postavení nití se zakříženým úsekem a těsného postavení nití bez provázání, viz obr. 2.26, kde je vyjádřen vliv pouze změny úseku flotáže. Na obr. 2.27 je zobrazení provázání obecné neplátnové vazby (zobrazení vlivu jak neprovázaných úseků, tak počtu provázaných úseků). Při definici struktury tkaniny, ve vztahu k těsnému provázání nití ve tkanině dané středním průměrem nití  $d_{str}$  a rozestupem  $A$  ( $B$ ) lze zavést parametr hodnotící zaplnění tkaniny vazné buňky dle vztahu (2.10), (52.11).

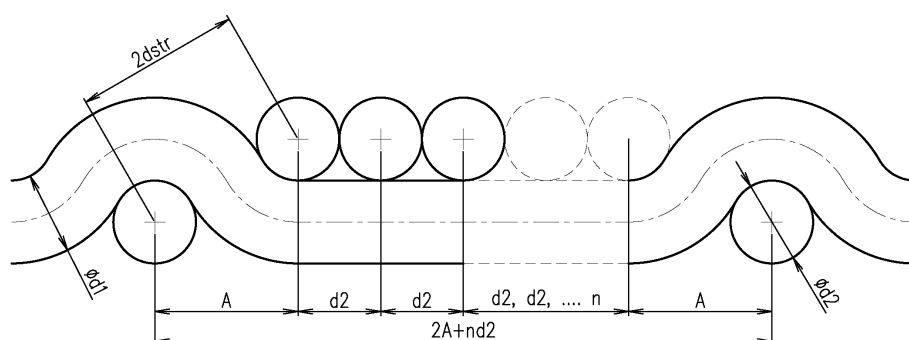
$$g_1 = \frac{d_{str}}{B}, \quad (2.10)$$

$$g_2 = \frac{d_{str}}{A}. \quad (2.11)$$

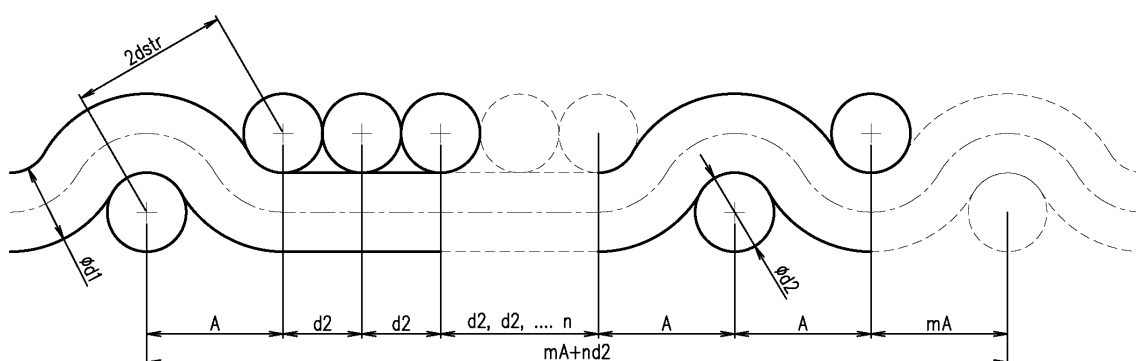
Z pohledu těsného provázání nití vazná buňka plátňového provázání na základě zakřížených úseků s definovaným rozestupem  $A$  ( $B$ ) dosáhne zaplnění tkaniny 57,7%. Hodnocení zaplnění tkaniny pro neplátňové vazby včetně prezentace žakárských tkanin je vyjádřeno na obr. 2.28. V žakárských tkaninách pro vytvoření vzornice bylo použito kombinace osmivazných atlasových vazeb základních a odvozených. Přepočet zaplnění je na základě podílu strukturálních buněk provázání P1-P4.



Obrázek 2.25: Geometrie těsného provázání nití ve tkanině v plátňové vazbě [30]

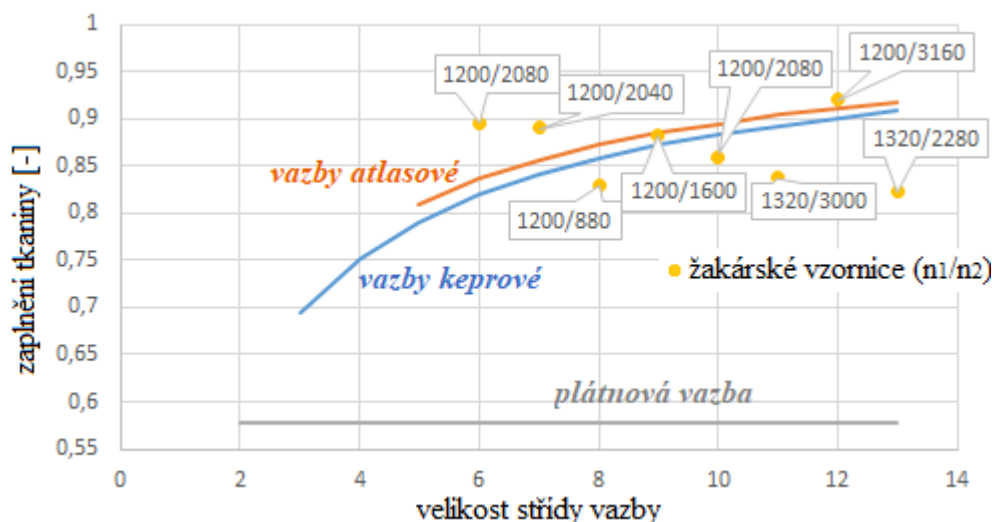


Obrázek 2.26: Geometrie těsného provázání nití pro obecnou neplátňovou vazbu základní [30]



Obrázek 2.27: Geometrie těsného provázání nití pro obecnou neplátňovou vazbu s možností definice velikosti flotáže daných počtem nití pod flotáží „ $n$ “ a počtu křížících úseků „ $m$ “ ve střídě vazby [30]

Neplátňové vazby jsou vazby volnější (z pohledu provázání dané flotáží) dosahující vyšších dostav nití, z čehož plyne vyšší zaplnění tkaniny. Stoprocentní zaplnění vazné buňky tkaniny je přisuzováno provázání s nekonečnou flotáží.



Obrázek 2.28: Vyjádření zaplnění tkaniny pro neplátňové vazby s těsným provázáním dle geometrie zobrazené na obrázku 2.26

Výzkumem v oblasti vyjádření základního konstrukčního parametru dostavy nití ve tkanině se zabývali i jiní autoři (Brierley [14], Ashenhurst [15], Law [16], Armitage [17], Milasius [18], Krátký [19]). Přístup uvedených autorů je ryze experimentální. Základy ve vyjádření parametrů dostavy nití ve tkanině dala teorie stoprocentní husté tkaniny (těsné provázání v plátňové vazbě) dle Brierley [14]. Teorie je postavená na tzv. čtvercové tkanině v plátňové vazbě, kde osnova a útek jsou stejné dráty z homogenního materiálu bez vzduchových mezer, vyjádřené substančním průměrem (vztah (2.6)). Vzájemné dotyky obou soustav nití leží v osové rovině tkaniny, viz obr. 2.25. Nítě jsou k sobě maximálně sraženy a vytváří těsné provázání. Pro neplátňové vazby, na sadě experimentálně realizovaných vzorků, je odvozena teorie opravného koeficientu provázání  $f^n$  flotážních vazeb v porovnání se základní plátňovou vazbou. Skutečná tkanina ve srovnání s limitní tkaninou je řidší, dotykové body nití nemusí ležet v osové rovině tkaniny. Poloha nití je dána zvlněním nití, které vzniká v rámci formování tkaniny provázáním. V praxi nelze vytvořit maximální těsnou pozici nití z důvodu tkacího odporu a stlačitelnosti nití (nelze pracovat s nití bez vzduchových mezer, je nutné pracovat se zaplněním délkových útvarů, kromě monofilu, který má zaplnění  $\mu=1$ , se pracuje se substančním průměrem). Dosažitelné hustoty tkaniny  $H$  je přibližně 80-90 % limitní dostavy v závislosti na struktuře a parametrech vstupního délkového útvarů [5]. Rozestup nití  $A$ ,  $B$  ve vazném bodě těsné geometrie čtvercové tkaniny jednoho zakřížení je definována dle vztahu (2.12). Na základě rozestupu a opravného koeficientu provázání je odvozena čtvercová dostava ve tkanině pro plátňovou vazbu a neplátňové vazby dle vztahu (2.13), (2.15). Přepočtení z limitní dostavy na skutečnou je vyjádřeno vztahem (2.14), (2.16).

$$A = \sqrt{4 \cdot (d_{str})^2 - (d_{str})^2} = d_{str} \cdot \sqrt{3}, \quad (2.12)$$

$$D_{lim\Box} = \frac{1}{\sqrt{4 \cdot (d_{str})^2 - (d_{str})^2}}, \quad (2.13)$$

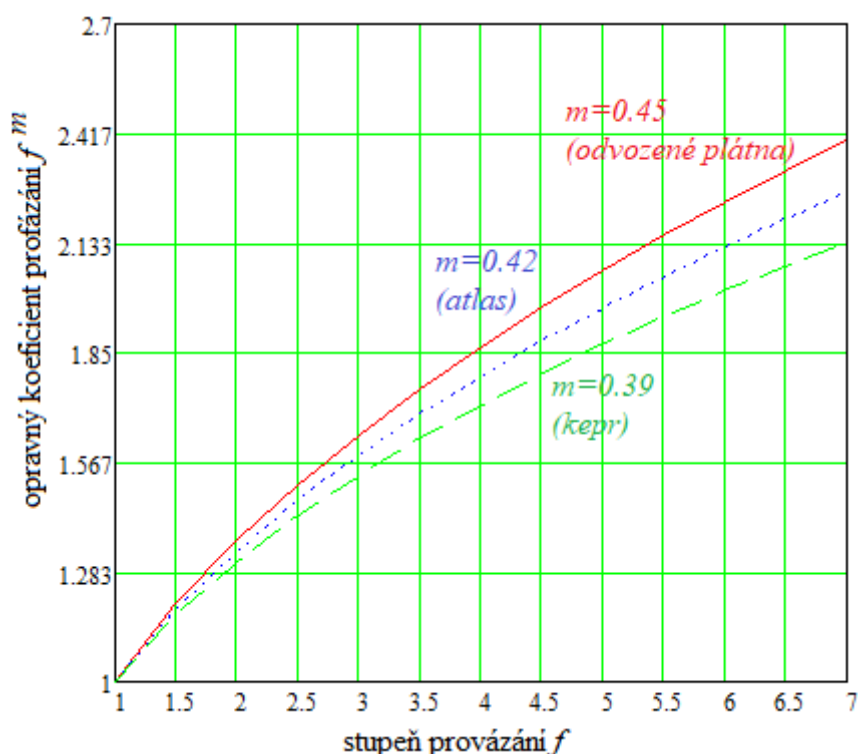
$$D_{skut. \square} = \frac{1}{\sqrt{4 \cdot (d_{str})^2 - (d_{str})^2}} \cdot H, \quad (2.14)$$

$$D_{lim \square} = \frac{1}{\sqrt{4 \cdot (d_{str})^2 - (d_{str})^2}} \cdot f^m, \quad (2.15)$$

$$D_{skut. \square} = \frac{1}{\sqrt{4 \cdot (d_{str})^2 - (d_{str})^2}} \cdot f^m \cdot H. \quad (2.16)$$

Opravný koeficient provázání  $f^m$  dle (Brierley [14]) vyjadřuje uvolnění provázání nití tkaniny u flotážní vazby v porovnání s plátovou vazbou, u které  $f^m=1$ . Vazební exponent  $m$  vyjadřuje míru podsouvání nití u neplátových vazeb v místě flotáže nití ve tkanině. Je stanoven empiricky ze sady tkanin, kde vazební exponent kepru  $m$  je 0,39, atlasu je 0,42 a odvozené vazby plátka je 0,45. S rostoucí flotáží roste hodnota stupně provázání, což vede k vyšší hodnotě dosažitelných dostav u neplátových vazeb, viz obr. 2.29. Pro stupeň provázání  $f$  flotážních vazeb platí vztah (2.17) vycházející z velikosti střídý vazby a počtu přechodů nití ve střídě vazby. Teorie neuvádí limitní stav opravného koeficientu provázání pro konstrukce tkanin.

$$f = \frac{n_1 \cdot n_2}{\sum_{n_{1(2)}} \text{počet přechodů v osnovní (útkové) mezeře}}. \quad (2.17)$$



Obrázek 2.29: Vyjádření opravného koeficientu  $f^m$  dle teorie Brierleyho pro různé druhy vazeb s různým stupněm provázání  $f$  střídý vazby ve tkanině

Pro vyjádření kombinací dostav jednotlivých soustav nití  $D_{1,2}$  v Brierleyho teorii platí empirický vztah (2.18). Exponenty jsou odhadnuty empiricky Brierleym. Platnost uvedených empirických vztahů není úplná. V teorii nejsou stanoveny hranice platnosti metody hodnocení geometrie tkanin



z hlediska dosažitelnosti dostav nití ve vztahu k zavedeným parametrům provázání nití ve tkanině a parametrům délkových útvarů ve vztahu k zaplnění.

$$D_1^{2/5} \cdot D_2^{3/5} = D_{\lim \square} \quad (2.18)$$

Z hlediska hodnocení plošné geometrie a struktury tkaniny se nabízí obecný pohled na uspořádání nití ve tkanině založený na definici strukturálních buněk provázání a jejich geometrii. Na základě určitých předpokladů zohledňující silové poměry nití v provázání lze na základě definice strukturálních buněk stanovit základní konstrukční parametry skutečné dostavy osnovních a útkových nití ve tkanině. Dostava osnovních a útkových nití je úzce spjatá s definicí průměru nití vstupujících do tkaniny a provázáním nití ve tkanině.

Výchozí popis geometrie tkaniny je možné postavit na dvou základních představách a přístupech:

- osnova a útek můžou být definovány jako homogenní materiál bez vzduchových mezer, kde průřez nitě je definován jako substanční průměr, vzájemné dotyky obou soustav nití leží v osově rovině tkaniny. Nítě jsou k sobě maximálně sraženy a vytváří těsné provázání -definováno k substančnímu průměru osnovních a útkových nití ve tkanině.
- osnova a útek můžou být definovány jako délkové útvary, u nichž je průměr dán na základě kruhového průřezu efektivního jádra příze z vláken, zohledněného definovaným zaplněním; vzájemné dotyky obou soustav jsou dány zvlněním nití ve tkanině, v případě shodného zvlnění nití ve tkanině leží nitě v osově rovině tkaniny. Maximální (těsné) postavení nití je dáno efektivním průměrem osnovních a útkových nití. Skutečná tkanina může vykazovat určitý rozdíl, který může vycházet z deformací nití v rámci formování tkaniny a parametrech tkacího procesu. V tomto případě záleží na struktuře a parametrech vstupní délkové textilie.

Rozměr vazné strukturální buňky plného zakřížení je dán skutečným rozestupem osnovních ( $B$ ) a útkových nití ( $A$ ) vyjádřeným z dostavy osnovních  $D_1$  a útkových  $D_2$  nití dle vztahu (2.19), (2.20). Rozestup osnovních nití určuje šířku buňky (vztaheno k ose  $x$ ), a rozestup útkových nití určuje hloubku buňky (vztaheno k ose  $y$ ).

$$B = \frac{1}{D_1}, \quad A = \frac{1}{D_2} \quad (2.19), (2.20)$$

Obecně, u neplátnových tkanin s vyšší flotáží, kde poměr zakřížených úseků k flotážním je vyšší, může dojít k uvolnění nití ve tkanině z důvodu poklesu soudržnosti, což může vést k posuvu nití a částečné změně rozestupu nití (*poznámka: ve skutečnosti se jedná o změnu v mikrometrech*).



Obrázek 2.30: Zobrazení struktury reálné tkaniny v neplátnové vazbě se změnou rozestupu v místě křížení a místě flotáže [30]

Skutečný rozestup křížícího úseku osnovních ( $B$ ) a útkových ( $A$ ) nití pro neplátnové vazby je možné přepočítat na základě vztahu (2.21), (2.22), kde vztah vychází z:  $D_{1,2}$  dostavy osnovních a útkových nití,  $n_{1,2}$  počtu osnovních a útkových nití ve střídě vazby,  $d_{str}$  středního průměr osnovních a útkových nití,  $pp_{1,2}$  počet přechodů osnovní nitě a útkové nitě. Ve vztahu je zohledněno možné uvolnění nití v místě zakřížení dáno posuvem nití, které plyne z velikosti flotáže, která definuje neplátnovou vazbu. Zakřížení je dáno počtem přechodů osnovní nitě  $pp_1$  a útkové nitě  $pp_2$ .

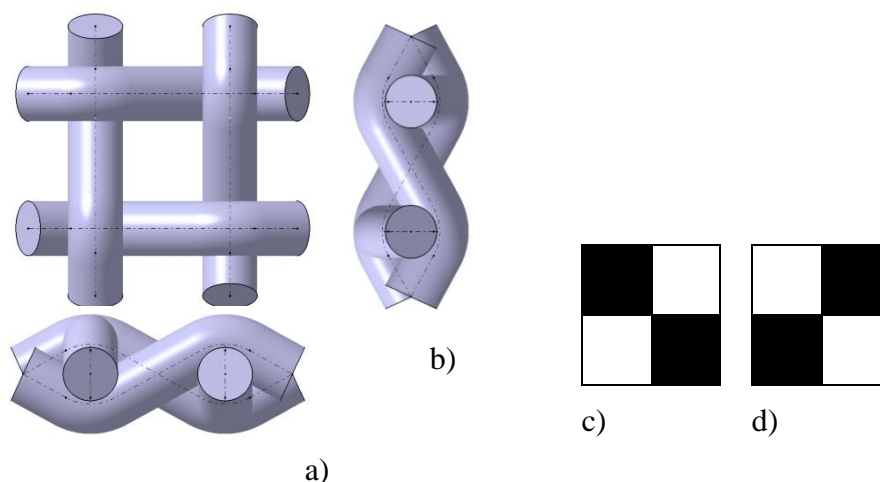
$$B = \frac{\left(\frac{n_1}{D_1}\right) \cdot d_{str} \cdot \sqrt{3}}{pp_2 \cdot d_{str} \cdot \sqrt{3} + d_1 \cdot (n_1 - pp_2)}, \quad (2.21)$$

$$A = \frac{\left(\frac{n_2}{D_2}\right) \cdot d_{str} \cdot \sqrt{3}}{pp_1 \cdot d_{str} \cdot \sqrt{3} + d_2 \cdot (n_2 - pp_1)}. \quad (2.22)$$

Jak už bylo uvedeno výše, v provázání nití ve tkanině existují čtyři základní stavební strukturální buňky zohledňující možné kombinace v postavení nití všech typů vzorů listových a žakárských tkanin. Strukturální buňka vystihuje provázání dvou sousedních nití jak pro podélný, tak i příčný směr. Vyjádření limitní dostavy nití ve tkanině na základě geometrie těsného provázání strukturálních buněk ve tkanině je postaveno na definici efektivního průměru osnovních a útkových nití ve tkanině, vzájemné dotyky obou soustav nití leží v osové rovině tkaniny.

Pro definici základního rozestupu nití jednotlivých strukturálních buněk je níže uveden rozbor těsné geometrie vzhledem k postavení a provázání nití ve strukturální buňce provázání. Na základě definice rozestupu bude následně vyjádřená dostava osnovních a útkových nití ve tkanině.

Definice strukturální buňky provázání P1 – plné křížení osnovních a útkových nití v podélném a příčném směru. Jedná se o buňku v oboustranném efektu (lícni a rubová strana je shodná v případě shody parametrů vstupního materiálu). Strukturální buňka P1 je symetrická buňka obsahující pouze křížící místa jak v podélném, tak příčném směru tkaniny, viz obr. 2.31. Strukturální buňka vytváří nejsoudržnější vazbu nití ve tkanině a to na základě vzájemného silového působení mezi nitmi osnovy a útku.



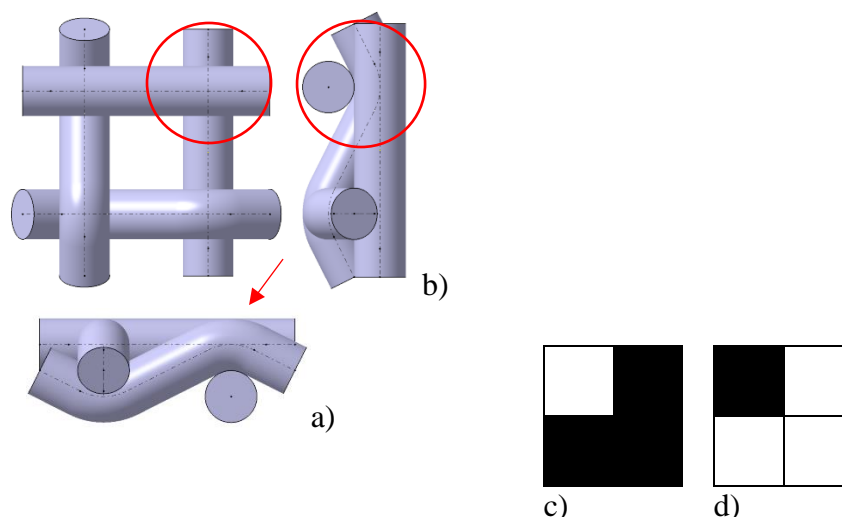
Obrázek 2.31: Strukturální buňka P1 – zobrazení: a) příčného a b) podélného řezu tkaninou, c), d) plošné zobrazení - oboustranné efekty buňky v rastru [56]

Rozměr strukturální buňky P1 v geometrii tkaniny s těsným uspořádáním nití je dán rozestupem osnovních a útkových nití  $B(P1)$ ,  $A(P1)$ , definovaným vztahem (2.23), (2.24), (odvozen od vztahu (2.21), (2.22)).

$$B(P1) = \frac{\left(\frac{n_1}{D_1}\right) \cdot d_{str} \cdot \sqrt{3}}{pp_2 \cdot d_{str} \cdot \sqrt{3} + d_1 \cdot (n_1 - pp_2)}, \quad (2.23)$$

$$A(P1) = \frac{\left(\frac{n_2}{D_2}\right) \cdot d_{str} \cdot \sqrt{3}}{pp_1 \cdot d_{str} \cdot \sqrt{3} + d_2 \cdot (n_2 - pp_1)}. \quad (2.24)$$

Definice strukturální buňky provázání P2 – částečné zakřížení nití v podélném a příčném směru. Jedná se o buňku, kde postavení nití může vytvořit osnovní nebo útkový efekt, viz obr. 2.32. Strukturální buňka P2 je symetrická buňka obsahující pouze částečné křížení nití v ploše buňky vzhledem k podélnému, tak příčnému směru tkaniny, viz obr. 2.32. Strukturální buňka nevytváří nejsoudržnější vazbu nití ve tkanině v porovnání s buňkou P1. Z důvodu flotážního postavení jedné nitě v buňce, viz obrázek 2.32, jsou vzájemná silová působení mezi nitmi osnovy a útku v daném místě vazné buňky nulová.



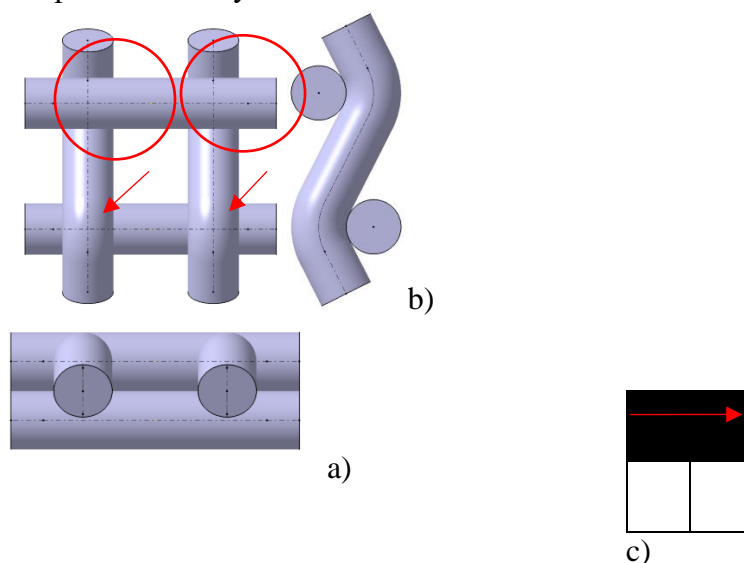
Obrázek 2.32: Strukturální buňka P2 – zobrazení: a) příčného a b) podélného řezu tkaninou, c) osnovní efekt buňky v rastru, d) útkový efekt buňky v rastru; (červeně vyznačené místo flotáže) [56]

Rozměr strukturální buňky P2 v geometrii tkaniny s těsným uspořádáním nití je dán rozestupem osnovních a útkových nití  $B(P2)$ ,  $A(P2)$ , vyjádřeným vztahem (2.25), (2.26). Při definici limitního rozestupu nití pro danou strukturální buňku P2, vztah vychází z definice těsné geometrie provázání střídavy vazby, ve které je buňka obsažena. Vztahem je vyjádřen střední limitní rozestup nití střídavy vazby obecně definované na základě křížících – přechodových úseků osnovních  $pp_1$  a útkových  $pp_2$  nití a flotážních úseků vyjádřených z velikosti střídavy definované počtem osnovních  $n_1$  a útkových  $n_2$  nití.

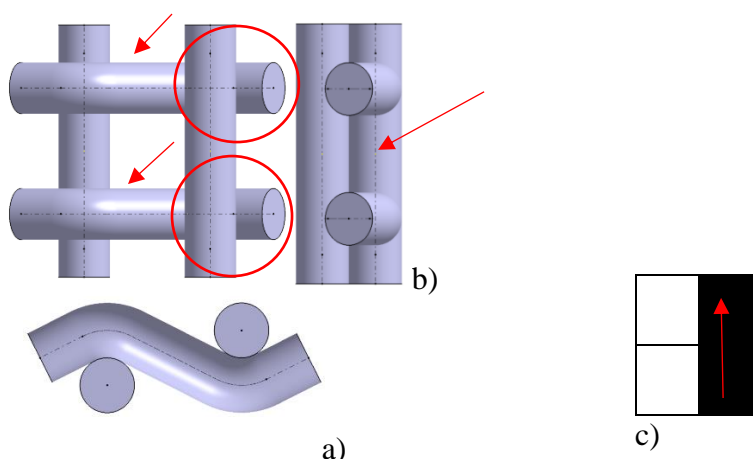
$$B(P2) = \frac{pp_2 \cdot d_{str} \cdot \sqrt{3} + d_1 \cdot (n_1 - pp_2)}{n_1}, \quad (2.25)$$

$$A(P2) = \frac{pp_1 \cdot d_{str} \cdot \sqrt{3} + d_2 \cdot (n_2 - pp_1)}{n_2} \quad (2.26)$$

Definice strukturální buňky provázání P3 – zdvojení nití v provázání v podélném nebo v příčném směru. Jedná se o buňku v oboustranném efektu. Strukturální buňka P3 je jediná asymetrická strukturální buňka provázání. Dvojice nití jednoho směru provazují v plném zakřížení, dvojice nití v druhém směru plně flotují, viz obr. 2.32, 2.33. Silové vazby provázání vytváří pouze jeden směr nití, ve druhém jsou na základě plné flotáže silové vazby nulové. Strukturální buňka nevytváří samostatně soudržnou vazbu nití ve tkanině. Postavení nití v provázání buňky je směrové. Strukturální buňka P3 je charakteristická pro definici provázání vzoru rypsové vazby odvozené od základní plátnové vazby.



Obrázek 2.32: Strukturální buňka P3 (→) – zobrazení: a) příčného a b) podélného řezu tkaninou, c) plošné zobrazení oboustranné příčné postavení nití, červeně vyznačené místo flotáže [56]



Obrázek 2.33: Strukturální buňka P3 (↑) – zobrazení: a) příčného a b) podélného řezu tkaninou, c) plošné zobrazení oboustranné podélné postavení nití v rastru (↑), červeně vyznačené místo flotáže [56]

Jedná se o směrovou buňku, kde rozměr strukturální buňky P3 v geometrii tkaniny s těsným uspořádáním nití je dán limitním rozestupem osnovních a útkových nití  $B(P3(\uparrow))$ ,  $A(P3(\uparrow))$

a  $B(P3(\rightarrow))$ ,  $A(P3(\rightarrow))$  pro každý směr. Limitní rozestup  $B(P3(\uparrow))$  a  $A(P3(\rightarrow))$ , definovaný pro plně křížící provázání nití v buňce, (viz obr. 2.32 b), 2.33 a)) je vyjádřený vztahem (2.27), (2.28) (odvozen od vztahu (12.21), (2.22)).

$$B(P3(\uparrow)) = \frac{\left(\frac{n_1}{D_1}\right) \cdot d_{str} \cdot \sqrt{3}}{pp_2 \cdot d_{str} \cdot \sqrt{3} + d_1 \cdot (n_1 - pp_2)}, \quad (2.27)$$

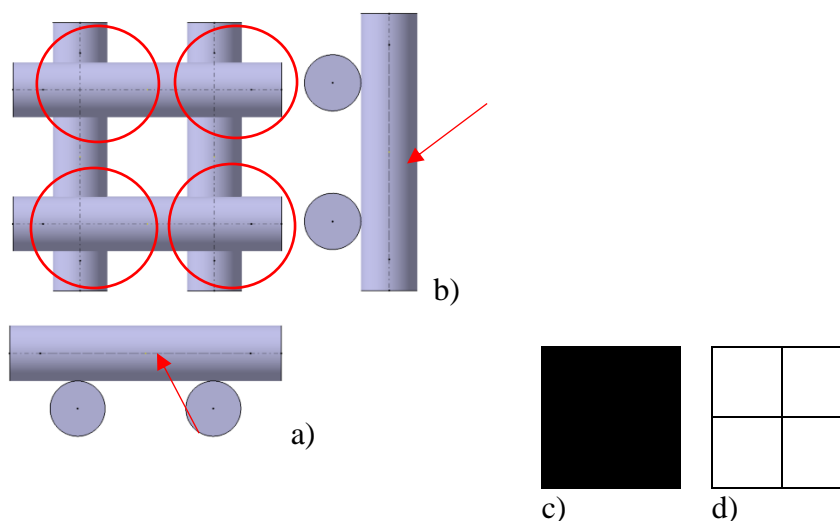
$$A(P3(\rightarrow)) = \frac{\left(\frac{n_2}{D_2}\right) \cdot d_{str} \cdot \sqrt{3}}{pp_1 \cdot d_{str} \cdot \sqrt{3} + d_2 \cdot (n_2 - pp_1)}. \quad (2.28)$$

Limitní rozestupy osnovních a útkových nití  $B(P3(\rightarrow))$  a  $A(P3(\uparrow))$ , u kterých nitě plně flotují (viz obr. 2.32 a), 2.33 b)) jsou definovány vztahy (2.29) a (2.30).

$$B(P3(\rightarrow)) = d_1, \quad (2.29)$$

$$A(P3(\uparrow)) = d_2. \quad (2.30)$$

Definice strukturální buňky provázání P4 – plná flotáž osnovních a útkových nití v podélném a příčném směru. Jedná se o buňku, kde postavení nití může vytvořit osnovní nebo útkový efekt. Strukturální buňka P4 je symetrická buňka obsahující pouze plně flotující místa provázání jak v podélném, tak příčném směru tkaniny, viz obr. 2.34. Strukturální buňka vytváří nesoudržnou vazbu nití ve tkanině a to na základě toho, že vzájemné silové působení mezi nitmi osnovy a útku jsou v místě flotáže nulové.



Obrázek 2.34: Strukturální buňka P4 – zobrazení: a) příčného a b) podélného řezu tkaninou, c) osnovní efekt buňky v rastru, d) útkové efekt buňky v rastru, červeně vyznačené místo flotáže [56]

Rozměr strukturální buňky P4 v geometrii tkaniny s těsným uspořádáním nití je dán limitním rozestupem osnovních a útkových nití  $B(P4)$ ,  $A(P4)$  vyjádřeným vztahem (2.31), (2.32).

$$B(P4) = d_1, \quad (2.31)$$

$$A(P4) = d_2. \quad (2.32)$$

Na základě výše definovaných limitních rozestupů osnovních  $B(P1-P4)$  a útkových  $A(P1-P4)$  nití čtyř strukturálních buněk je možné stanovit dle vztahu (2.33), (2.34) střední limitní rozestup osnovních  $B(str)$  a útkových  $A(str)$  nití střídavy vazby/vzoru, který vychází z definované těsné geometrie provázání nití uvedených strukturálních buněk.

$$B(str) = \frac{\sum_{n_2} B(P1-P4)}{n_1 \cdot n_2}, \quad (2.33)$$

$$A(str) = \frac{\sum_{n_1} A.(P1-P4)}{n_1 \cdot n_2}. \quad (2.34)$$

Na základě středního limitního rozestupu nití pro osnovní a útkový směr je možné následně přepočítat dle vztahu (2.35), (2.36) limitní dostavu osnovních a útkových nití pro dané provázání nití v ploše střídavy listové a žakárské tkaniny.

$$D_1 = \frac{n_1 \cdot n_2}{\sum_{n_2} B.(P1-P4)}, \quad (2.35)$$

$$D_2 = \frac{n_1 \cdot n_2}{\sum_{n_1} A.(P1-P4)}. \quad (2.36)$$

Na základě poměru rozestupů nití v plátnové vazbě a vazbě neplátnové (flotážní) lze dle vztahu (2.37), (2.38) vyjádřit stupeň neprovázanosti osnovních a útkových nití u neplátnových vazeb. Stupeň neprovázanosti představuje míru uvolnění nití v provázání ve vztahu k flotáži. Je možné jej použít pro vyjádření všech způsobů provázání, na rozdíl od Brierleyho opravného koeficientu provázání  $f^m$  vyjádřeného z experimentálního souboru vzorků tkanin popsaného výše. Grafické porovnání opravného koeficientu neprovázání nití dle *Brierleyho* a nově navrženého koeficientu neprovázání nití vyjádřený na základě strukturálních buněk provázání je zobrazeno na obr. 2.35. Stupeň neprovázanosti nití pro maximální uvolnění provázání nití, které lze ve tkanině přiřadit nekonečné flotáži, je dán vztahem (2.39). Jedná se o limitní hodnotu neprovázanosti nití ve tkanině, který vytvoří nesoudržný systém nití.

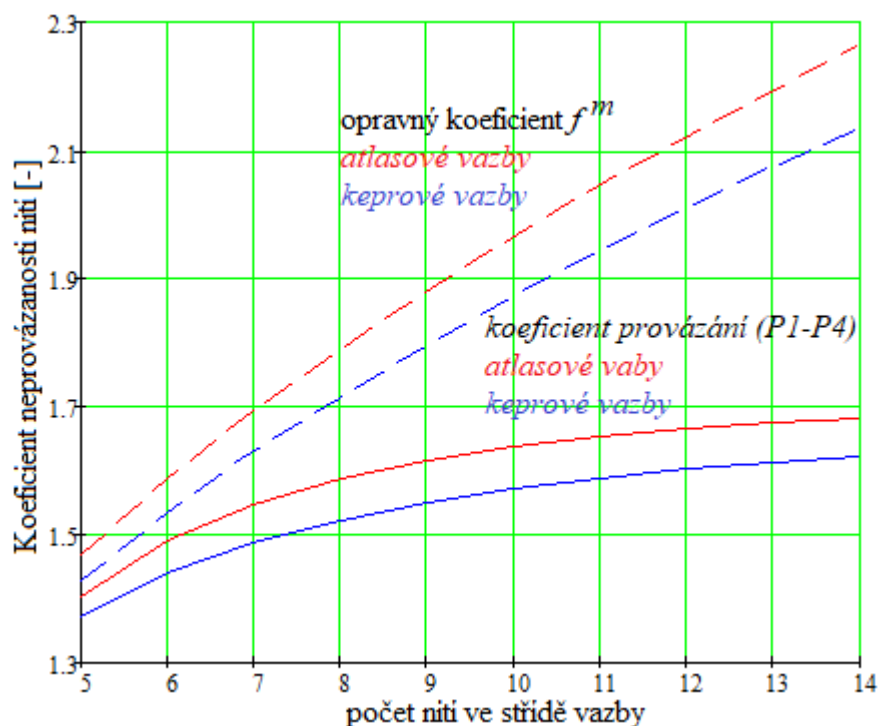
$$Sn_1 = \frac{d_{str} \cdot \sqrt{3} \cdot n_1 \cdot n_2}{\sum_{n_1} A.(P1-P4)}, \quad (2.37)$$

$$Sn_2 = \frac{d_{str} \cdot \sqrt{3} \cdot n_1 \cdot n_2}{\sum_{n_2} B.(P1-P4)}. \quad (2.38)$$

$$maximální\ uvolnění\ provázání_{1,2} = \frac{d_{str} \cdot \sqrt{3}}{d_{1,2}}. \quad (2.39)$$

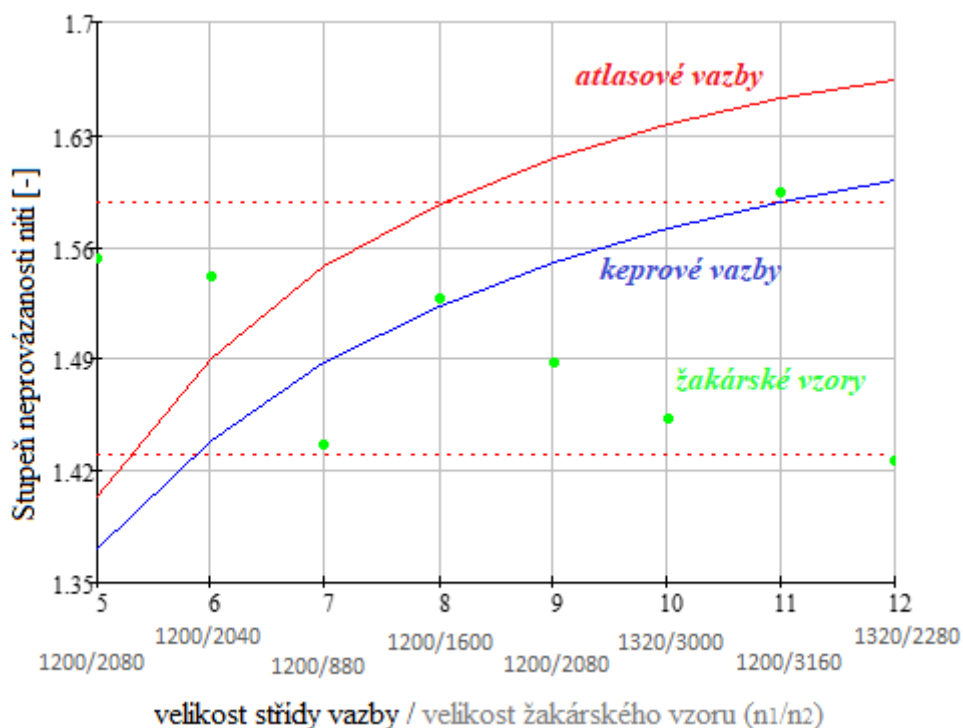
Pro čtvercové těsné konstrukce tkanin, u kterých je vstupní délková textilie definovaná shodně pro osnovní a útkovou soustavu nití, je maximální uvolnění provázání pro osnovní i útkový směr rovné  $\sqrt{3}$ .





Obrázek 2. 35: Zobrazení koeficientu neprovázání nití vyjadřující konstrukce neplátňových tkanin (příklad je vztažen na vazby atlasové a keprové od velikosti pěti nití ve střídě vazby)

U atlasových vazeb jsou koeficienty neprovázání vyšší než u vazeb keprových, viz obr. 2.35. Plyne to z absence strukturální buňky P1 provázání nití ve tkanině. Atlasová vazba je vazbou, u které je možné dosáhnout vyšších dostav v porovnání s dalšími základními vazbami jako je kepr a plátno.



Obrázek 2.36: Zobrazení koeficientu neprovázání pro vyjádření konstrukce neplátňových tkanin lisových (atlasové a keprové vazby) a žakárských tkanin dle vzornice obr. 2.20

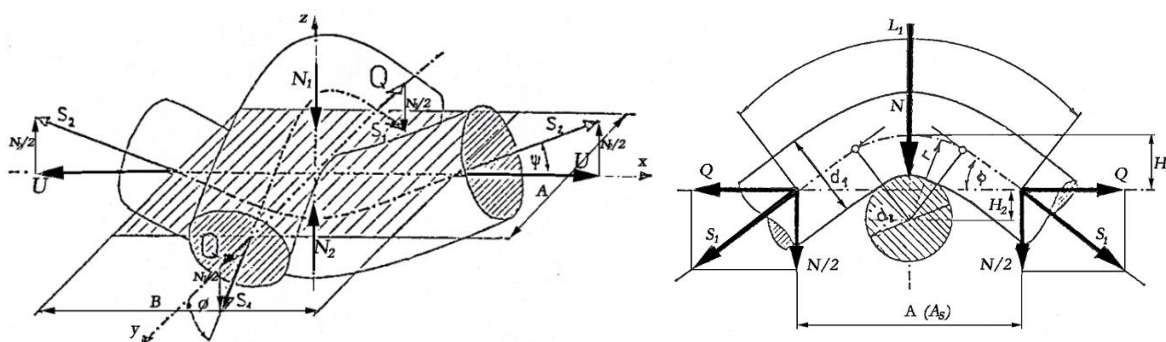
Na obr. 2.36 je znázorněn koeficient neprovázanosti vyjádřený z rozboru strukturálních buněk pro vzor žakárských tkanin. Vzornice žakárských tkanin jsou uvedeny na obr. 2.20. V daném případě Brierleyho teorii není možné použít, protože tato teorie je odvozena pouze pro základní vazby a vybrané odvozené vazby listových tkanin. Při zpracování žakárské vzornice úprava kontur v přechodových místech vzoru umožňuje úpravu velikosti flotáže. Provázanost vzoru v místě přechodu ploch vzoru roste. V případě poklesu provázání nití v místě přechodu vzoru je následně povoleno, z hlediska vzorování žakárských tkanin s maximálním uvolněním, neprovázání délky nitě o 1-2 body navíc v porovnání se vstupní vazbou, která provazuje jednotlivé plochy tkaniny. Hodnoty koeficientu neprovázání nití hodnocených žakárských vzorů se pohybují v rozmezí 1,426-1,594, což odpovídá koeficientu neprovázání pěti-osmi vazného atlasu, se kterými žakárská vzornice pracuje.

### 3 Prostorová geometrie listových a žakárských tkanin

Celý proces tkaní je procesem vytváření vazných bodů. Rozměrová stabilita obou soustav nití ve vazné buňce se od místa zrodu, tj. od místa přírazu, až do ustáleného místa uvnitř tkaniny mění. Mění se i od kraje do středu šíře tkaniny na tkacím stroji. Všechny potřebné zákonitosti o rovnováze těchto proměnlivých sil, o přetváření vazného prvku (buňky), o dosažitelných dostavách, stabilitě tkaní, vlivu způsobu přírazu atd. lze vyvodit z popisu vzájemných vazeb mezi napjatostí a geometrickými změnami vazné buňky. Struktura vznikající tkaniny je určena: a) množstvím útku, který je do vazného bodu vtažen, b) napětím, které se v něm zatkváním vytváří, c) napětím osnovy. Délka dodaného útku je obecně větší než je rozteč vazného prvku, což je způsobeno naddodávkou příze. Naddodávku můžeme regulovat: a) vtahovanou nit v určité fázi zablokujeme provázáním s osnovou, tím se zamezí další přísunu délky, b) nit dodáváme v napjatém a tím i v protaženém stavu [5].

Studium geometrických, silových a deformačních poměrů ve tkanině plyne z definice prostorové struktury (geometrie) tkaniny. Výzkumem v oblasti definice prostorové geometrie tkaniny od místa zrodu až do ustáleného stavu se zabývali i jiní autoři (Nosek [5], Peirce [21], Olofsson [22], Novikov [26], Lomov [27], Dvořák [28]). Prostorová geometrie stávajících prací vychází z popisu základního vazného elementu v plátnové vazbě. Plátnové provázání, tím, že je tvořeno pouze vzájemným překřížením osnovních a útkových nití, je limitující strukturou tkaniny. Všechny ostatní vazby jsou vazby volnější. K vzájemnému provázání je kromě základního překřížení nití použit flotážní - neprovázaný volně ležící úsek nití. Studium základního elementu plátna je možné použít pro objasnění a vysvětlení dějů při procesu tvorby tkaniny. Obecně, při tvorbě tkaniny na tkacím stroji v strukturálních buňkách provázání, u kterých vzájemné provázání je vytvořeno zakřížení osnovních a útkových nití, dochází ke vzájemnému silovému působení mezi nitmi osnovy a útku. Síly  $N_1$ ,  $N_2$ , vytvářející vzájemné silové působení v osnovní a útkové nití, jsou v rovnováze (platí zde Newtonův zákon, zákon akce a reakce). Silové působení v tomto elementu provázání zajišťuje soudržnost vytvořené tkaniny. Z hlediska uspořádání nití ve tkanině a geometrie tkaniny vzájemné silové působení závisí na úhlu provázání osnovních a útkových nití. Úhel provázání vzniká pouze v úseku křížení nití (úhel provázání nití  $\varphi_{1,2} > 0$ ), v místě flotáže je úhel provázání  $\varphi_{1,2} = 0$ . Definice geometrických, silových i deformačních poměrů základních strukturálních buněk provázání ve tkanině bude vyjádřena pro ustálený stav tkaniny, kde se předpokládá symetrický ustálený prvek, viz obr. 3.1, na rozdíl od stavu zrodu tkaniny,

kde prvek je ve směru osnovy nesymetrický. Úhly provázání přední a zadní strany vazného elementu v ustáleném stavu jsou shodné (na čele tkaniny úhly provázání přední a zadní strany vazného prvku jsou různé, zadní strana nití je vedena v prošlupu).

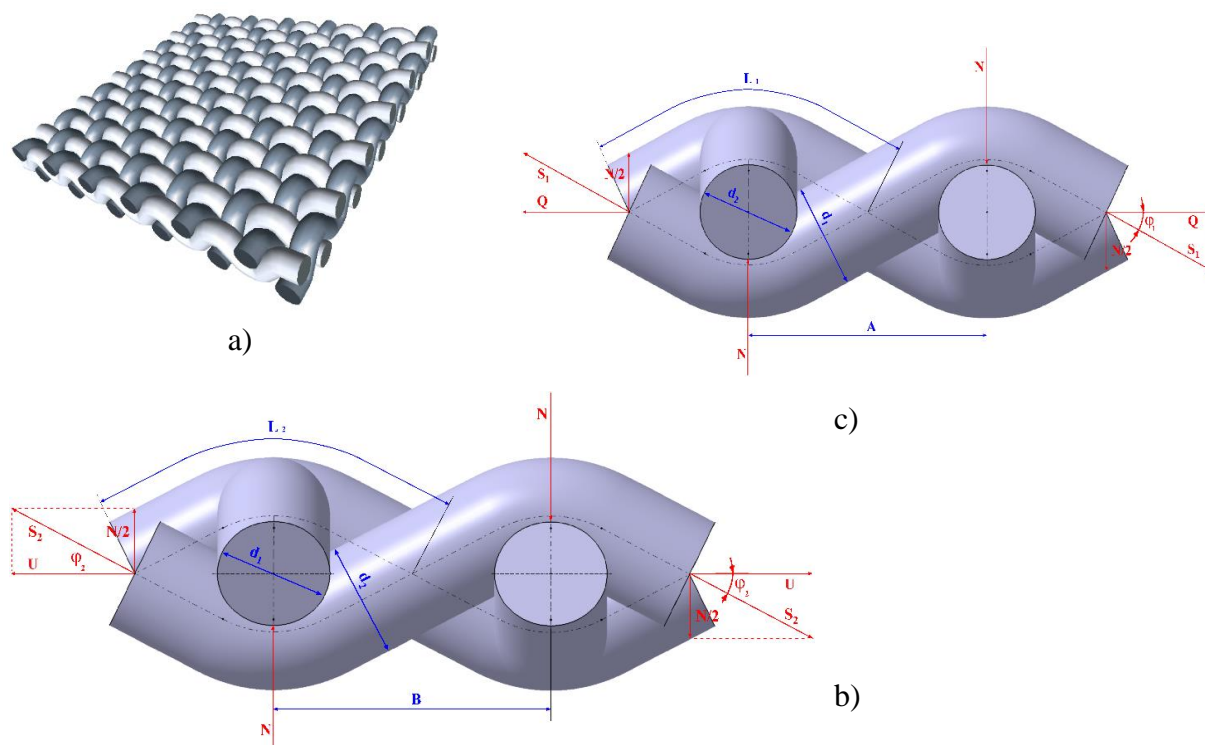


Obrázek 3.1 Geometrické a silové poměry ve vazném prvku tkaniny [5]

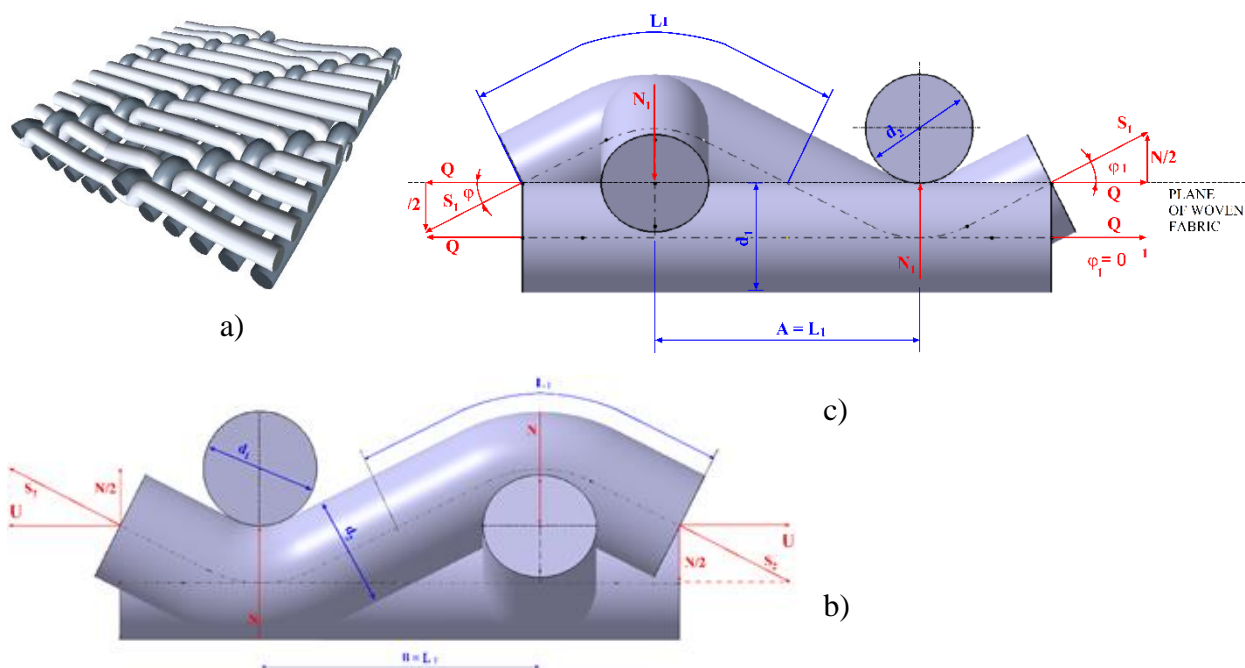
Modelový element vazného prvku strukturální buňky je definován na základě efektivního průměru osnovní  $d_1$  a útkové  $d_2$  nitě kruhového průřezu efektivního jádra příze z vláken. Výzkumem v oblasti definice průřezu vstupních nití a jeho deformace ve tkanině v rámci provázání se zabývali i jiní autoři (Kemp [6], Milašius [8], Ozgen [9]). Průřez nití a následná definice průměru nití je závislá na parametrech nití a jejich způsobu výroby, viz kapitola 1.2 Definice vstupních parametrů plošné geometrie listových a žakárských tkanin.

Prostorová struktura tkaniny (listové i žakárské) a její geometrické poměry (GP) jsou dány strukturální buňkou definující oblast vazného prvku daného zakřížením nití i flotáží nití. Rozměr buňky je dán rozestupem  $A \times B$ , což představuje šířku a hloubku vazného elementu. V případě střídavy/vzoru je rozměr dán celkovou šířkou a hloubkou střídavy vazby/vzoru  $Ts_1 \times Ts_2$ . Osnova i útek jsou ve vazném elementu definovány zvlněním s výškou vazných vln  $h_1, h_2$ , tvarem vazné vlny (průhybové čáry) získané experimentálně použitím obrazové analýzy příčných řezů tkaninou a teoreticky na základě geometrických nebo matematických modelů, délkou nitě ve vazné vlně (délkou průhybové čáry) a výsledným sklonem vazné vlny definovaným úhlem provázání  $\phi_1 \phi_2$ .

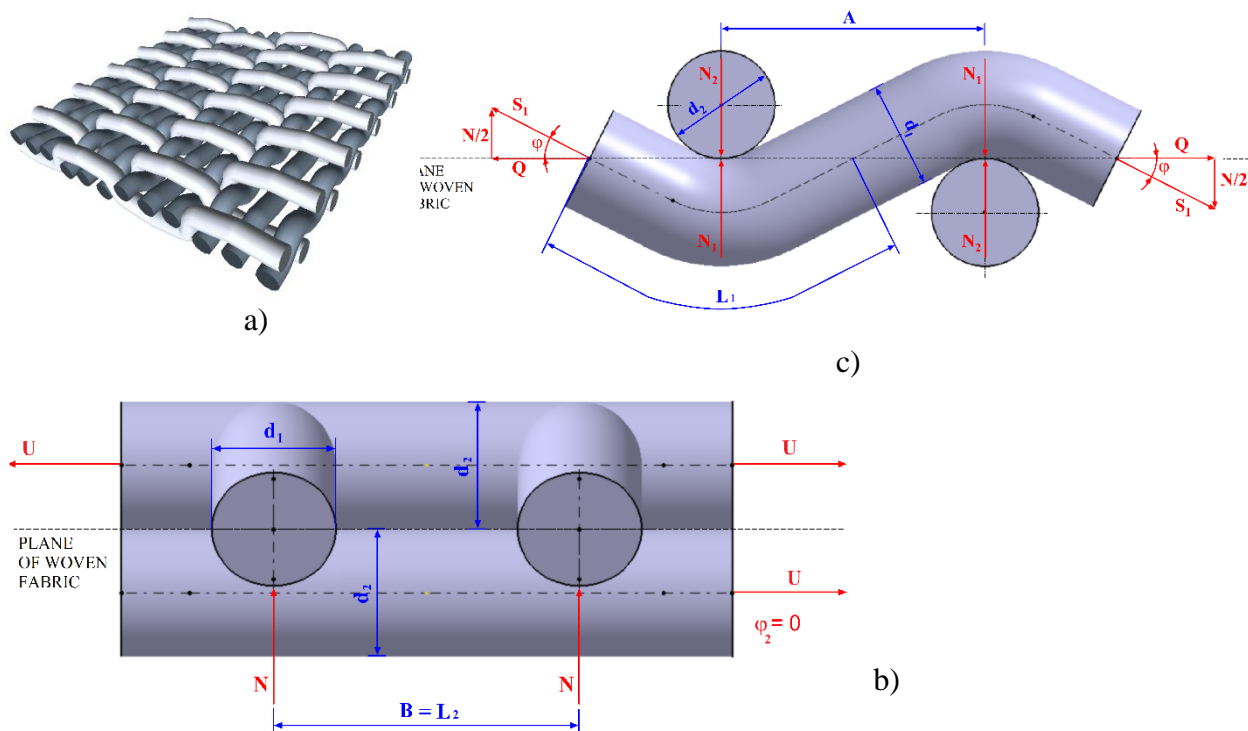
Geometrické a silové poměry strukturálních buněk provázání jsou uvedené na obr. 3.2 – 3.2c.



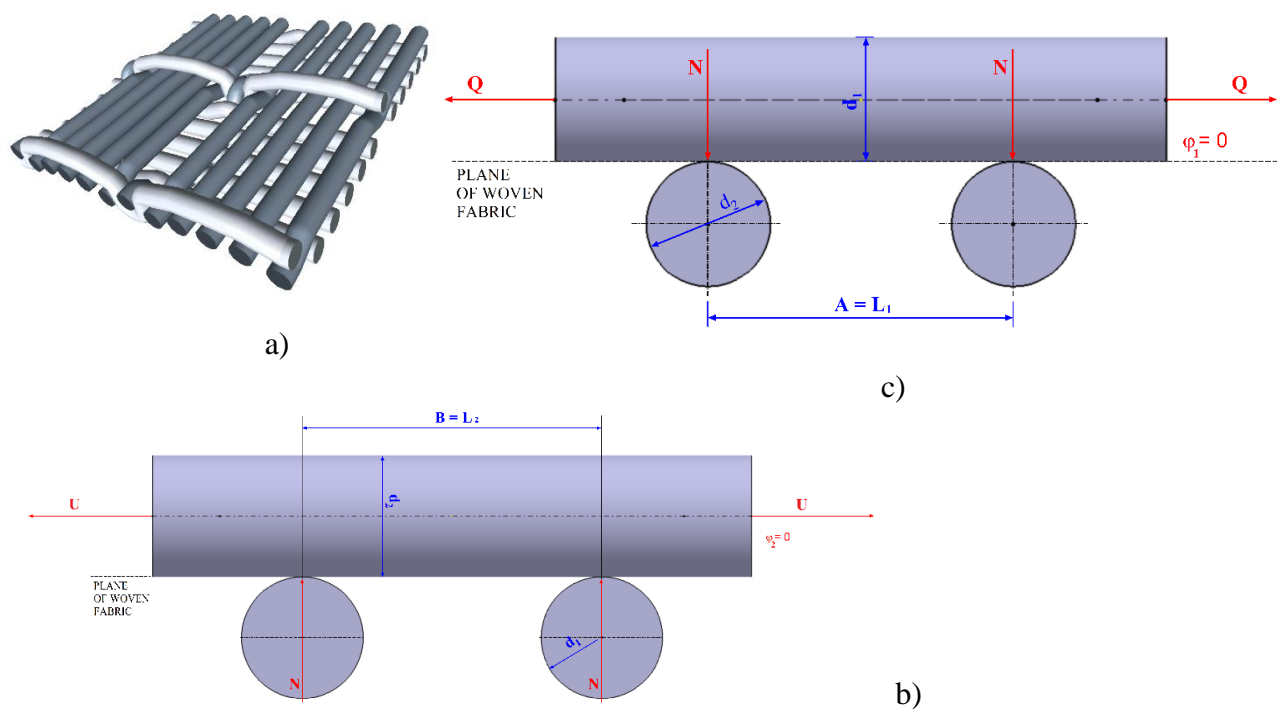
Obrázek 3.2: Geometrické a silové poměry ve strukturální buňce provázání *P1*, zobrazení a) plošný pohled tkaniny s buňkou *P1*, b) příčný řez tkaninou, c) podélný řez tkaninou [56]



Obrázek 3.2a: Geometrické a silové poměry ve strukturální buňce provázání *P2*, zobrazení a) plošný pohled tkaniny s buňkou *P2*, b) příčný řez tkaninou, c) podélný řez tkaninou [56]



Obrázek 3.2b: Geometrické a silové poměry ve strukturální buňce provázání P3, zobrazení a) plošný pohled tkaniny s buňkou P3, b) příčný řez tkaninou, c) podélný řez tkaninou [56]



Obrázek 3.2c: Geometrické a silové poměry ve strukturální buňce provázání P4, zobrazení a) plošný pohled tkaniny s buňkou P4, b) příčný řez tkaninou, c) podélný řez tkaninou [56]

Geometrické poměry (GP) ve struktuře tkaniny lze shrnout do tvaru vektoru geometrických parametrů struktury tkaniny vyjádřené vztahy (3.1).



$$GP = \left[ \begin{array}{l} d_{1,2} = \sqrt{\frac{4T_{1,2}}{\pi \cdot \rho_{1,2} \cdot \mu_{1,2}}} \\ d_{str} = \frac{d_1 + d_2}{2} \\ A = \frac{1}{D_2}, \quad B = \frac{1}{D_1} \\ h_{1,2} = e_{1,2} \cdot d_{str} \\ e_1 + e_2 = 1 \\ \varphi_{1,2} = \arctg\left(\frac{dy}{dx}\right) \\ L_{1,2} = \int_0^{Ts_{1,2}} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx \end{array} \right] \left( \begin{array}{l} d_{1,2} = \text{efektivní průměr osnovní, útkové nitě} \\ d_{str} = \text{střední efektivní průměr osnovní a útkové nitě} \\ A, B = \text{rozestup útkových, osnovních nití} \\ h_{1,2} = \text{výška vazné vlny osnovní a útkové nitě} \\ e_{1,2} = \text{míra zvlnění osnovních, útkových nití} \\ \varphi_1 = \text{úhel provázání vazné vlny osnovní nitě} \\ \varphi_2 = \text{úhel provázání vazné vlny útkové nitě} \\ L_{1,2} = \text{délka nitě ve vazné vlně střídý vazby tkaniny,} \\ \text{je možné ji stanovit experim. nebo teoreticky modelem} \end{array} \right) \quad (3.1)$$

Silové poměry (*SP*) jsou popsány vztahy (3.2) vycházejícími z geometrických poměrů definujících oblast vazného prvku v místě křížení, viz obr. 3.1. Rovnováha sil v osnově a útku a její geometrické podmínky (obr. 2.1) jsou dány vnější silou  $Q$  v rovině osnovy a tahovou silou  $S_2$  ve střednici útku a normálovou silou  $N$  danou vzájemným silovým působením osnovních a útkových nití. Poměr obou složek silové rovnováhy určuje úhel provázání mezi osnovní a útkovou nití. Z vnější síly  $Q$  osnovy a úhlu provázání  $\varphi_1$ , který je znám z geometrických parametrů struktury tkaniny, lze vypočítat tahovou sílu v střednici osnovní nitě  $S_1$  a normálovou sílu  $N_1$  osnovy na útek. V místě zakřížení, kde z reakce útku/osnovy vzájemného silového působení nití platí  $N_2 = -N_1$ , lze vyjádřit tahovou sílu v útku  $S_2$ . Ze síly  $S_2$  a známého úhlu  $\varphi_1$  je možné vyjádřit tahovou sílu ve směru rozpínek  $U$ . Současně lze z tahové síly  $S_1$  resp.  $S_2$  vyjádřit poměrné protažení nitě  $\varepsilon_1$ , resp.  $\varepsilon_2$  ve vazném prvku. Na základě poměrného protažení  $\varepsilon_1$ , resp.  $\varepsilon_2$  a délky nitě ve vazné vlně  $L_1$ , resp.  $L_2$  lze vyjádřit setkání nitě, což znamená vyjádření spotřeby nitě přepočtené na nenapjatý stav [5].

$$SP = \left[ \begin{array}{l} Q \\ S_1 = \frac{Q}{\cos \varphi_1} \\ S_2 = \frac{U}{\cos \varphi_2} \\ N_1 = 2 \cdot Q \cdot \tg \varphi_1 \\ N_1 = -N_2 \\ U = \frac{N_2}{2 \cdot \tg \varphi_2} \end{array} \right] \left( \begin{array}{l} Q = \text{vnější napětí (síla) osnovních nití} \\ S_1 = \text{vnitřní tahová síla působící v ose osnovní nitě} \\ S_2 = \text{vnitřní tahová síla působící v ose útkové nitě} \\ N_{1,2} = \text{normálová síla, vzájemné silové působení mezi} \\ \text{osnovní a útkovou nití} \\ U = \text{vnější síla působící ve směru rozpínek} \end{array} \right) \quad (3.2)$$

Při zanášení útku do prošlupu se útek uloží v prošlupu do každého vazného elementu v délce  $l_2$  rovnající se jen šíři rozestupu osnovních nití  $B$  ( $l_2 = B$ ). Následně ve fázi tvorby tkaniny dané



přírazem útku k čelu tkaniny se útek napne a protáhne do stavu rovnováhy sil mezi osnovou a útkem. V důsledku vzájemného provázání osnovních a útkových nití dochází ve vazném elementu k protažení nití na jejich celkovou délku nitě ve vazné vlně  $L_{1,2}$ . Deformační – silové poměry ( $DP$ ) jsou vyjádřeny vztahy (3.3) vycházejí ze základní relace mezi tahovou silou na hranici vazného prvku a mezi vzniklým protažením nitě [5].

$$DP = \left[ \begin{array}{l} L_{1,2} = \int_0^{Ts_{1,2}} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx \\ l_1 = A + l\Delta_1 \sim l_1 = A \\ l_2 = B + l\Delta_2 \sim l_2 = B \\ L_{1,2} = l_{1,2} + \Delta l_{1,2} \\ \Delta l_{1,2} = \frac{S_{1,2}}{E_{1,2} \cdot F_{1,2}} \cdot l_{1,2} \\ \varepsilon_{1,2} = \frac{\Delta l_{1,2}}{l_{1,2}} = \frac{L_{1,2} - l_{1,2}}{l_{1,2}} \\ \Rightarrow \\ L_{1,2} = \left(1 + \frac{S_{1,2}}{E_{1,2} \cdot F_{1,2}}\right) \cdot l_{1,2} \\ S_{1,2} = E_{1,2} \cdot F_{1,2} \cdot \varepsilon_{1,2} \end{array} \right] \left( \begin{array}{l} L_{1,2} = \text{celková délka nitě osnovní, útkové ve vazné} \\ \text{vlně střídý vazby se šířkou, hloubkou střídý } Ts_{1,2} \\ l\Delta_{1,2} = \text{naddodávka nitě vkládané do procesu oproti} \\ \text{šíři vazného prvku definovaná rozestupem } B, A \\ l_{1,2} = \text{délka nitě vložená do procesu} \\ \Delta l_{1,2} = \text{protažení osnovní, útkové nitě v důsledku} \\ \text{provázání nití (zvlnění nití)} \\ S_{1,2} = \text{vnitřní tahová síla působící v ose osnovní, útkové} \\ \text{nitě} \\ E_{1,2} = \text{Youngův modul pružnosti osnovní, útkové nitě} \\ F_{1,2} = \text{plocha průřezu osnovní, útkové nitě} \\ \varepsilon_{1,2} = \text{poměrné protažení osnovní, útkové nitě} \end{array} \right) \quad (3.3)$$

### 3.1 Vyjádření a popis vazné vlny provázání nití v příčném řezu tkaninou

Vazba tkaniny se v různých publikacích popisuje různými způsoby, podle účelu vyjádření a následného použití i podle erudice autora. Vazba – její střída jako vstupní informace pro definici provázání se nejčastěji zakresluje graficky pomocí vzornice. Je to jednoduchý a názorný, ale nikoliv operativní způsob popisu provázání, který by umožňoval analýzu vztahu mezi provazujícími nitěmi a vlastnostmi výsledné tkaniny. Pro popis konstrukce tkaniny z pohledu desinatéra se však jedná o popis nepostradatelný.

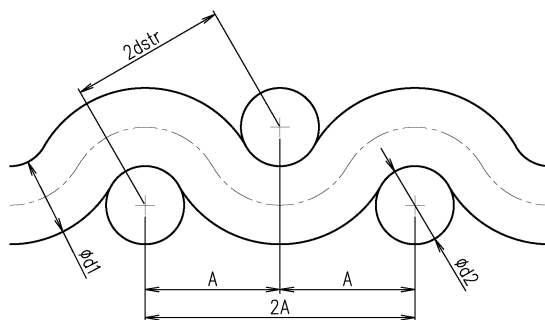
Složitější způsoby popisu struktury tkaniny a jejího provázání jsou způsoby matematické pomocí analytického vyjádření tvaru vazné vlny osnovních a útkových nití ve tkanině. Zde se vyžaduje popis, na jehož základě by se daly zjistit geometrické veličiny jako je délka (spotřeba) nití ve vazném prvku, výšky vazných vln, úhly provázání, volný prostor mezi nitěmi ve tkanině, deformace tkaniny v podélném a příčném směru, apod. Tyto veličiny pak mohou být využity samy o sobě k posouzení chování tkaniny v ustáleném stavu i ve stavu zrodu. Podmínkou pro takové použití je však co největší analytičnost v matematickém smyslu popisu, tj. spojitost křivek provázání i ve vyšších derivacích. To většina známých matematických popisů nesplňuje, i když je odvození popisu provázání často dosti vysoce sofistikované (*Olofsson* [22]). Křivka provázání je zde odvozená od představy ohnutých vetknutých těles nití v horní a dolní půlvlně, jež se vzájemně zatěžuje v bodě přechodu z horní do dolní části. Obě vlny mění v místě návaznosti skokem svou křivost. Matematicky nejjednodušší je naopak *Pierceův* model [21] definovaný

pomocí kruhových a přímkových úseků nit, který se vyznačuje hned vícenásobnou nespojitostí již v první derivaci. S využitím Fourierovy řady Kolčavová Sirková [29, 31, 35, 36]) (podrobný rozbor matematického modelu je uveden v dizertační práci Sirková [30]) se nabízí popis provázání jak v podélném, tak i příčném směru jednoduchých i vícenásobných tkanin. Výsledkem jsou funkce spojitě, dají se uspořádat i do matematických charakteristik různých vazeb. Je možné s nimi operovat i v mechanice pro analýzu chování tkanin v závislosti na vazebném způsobu provázání. Využití Fourierových řad pro popis provázání nití vícenásobných spojkových tkanin je uveden v disertační práci doktora Zuhaiba Ahmada (školicelka Kolčavová Sirková) pod názvem: Structure and geometry of single and two layer stitched woven fabrics [32], a časopiseckých publikacích (Ahmad, Kolčavová Sirková [33, 34]).

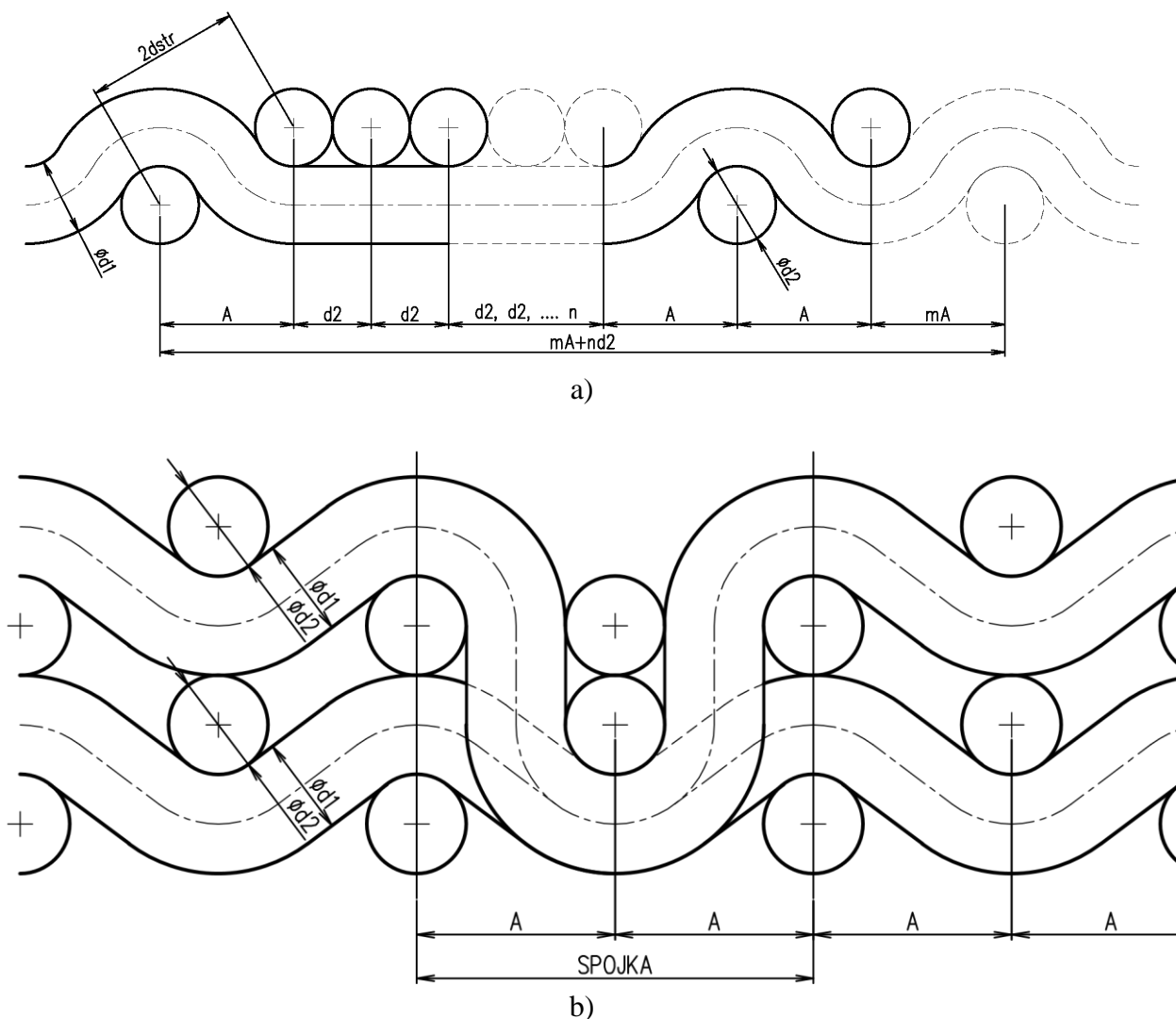
Obecně – průběh vazné nitě ve tkanině lze považovat za zobrazení jistého fiktivního náhodného procesu se základní periodou opakování rovnou střídě vazby a celým spektrem dalších period (vlnových délek). Tvar a počet opakujících se úseků ve vazné vlně je dán počtem osnovních a útkových nití ve střídě vazby, která se pak pravidelně opakuje v celé šíři tkaniny  $Ts_1 \times Ts_2$ .

Protože tvar vazné vlny je blízký harmonickému průběhu (jak ukazují prakticky realizované řezy), nabízí se možnost popisu vazné vlny Fourierovou řadou harmonických funkcí s určitým spektrem amplitud a posuvů jednotlivých harmonických složek. Toto spektrum je dáno vazbou tkaniny a reálným tvarem přechodových křivek. Na rozdíl od stávajících modelů uvedený popis navíc respektuje periodicitu a tvar celé vazné vlny (včetně opakování) ve tkaninách jednoduchých i vícenásobných v plátnovém i v neplátnovém provázání. Na obr. 3.3-3.3a je uvedeno zobrazení těsného provázání jednoduché tkaniny a tkaniny dvojnásobné spojkové v plátnové vazbě.

Vazba tkaniny a k ní příslušející část spektra harmonických složek je dána jednak velikostí příslušného provázání a jednak způsobem provázání (počet přechodů a počet flotází) tj. složitostí vazby. Změna nebo deformace tvaru vazné vlny, ke které může dojít během tkání, vede ke změně geometrie daného provázání, což se projeví na tvaru spektra vazby tkaniny.



Obrázek 3.3: Zobrazení těsné geometrie jednoduché tkaniny v plátnové vazbě [30]



Obrázek 3.3a: Zobrazení těsné geometrie a) obecné neplátnové vazby tkaniny listové, b) tkaniny dvounásobné spojkové v plátnové vazbě [30], [32]

Navržený model vychází ze základní definice Fourierovy řady vyjádřený vztahem (3.4), kde se jedná o rozvoj dané funkce  $f(x)$  v trigonometrickou řadu [35] ve tvaru

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left( a_n \cos\left(\frac{2\pi nx}{T}\right) + b_n \sin\left(\frac{2\pi nx}{T}\right) \right), \quad (3.4)$$

kde:  $a_0, a_n, b_n, \dots$  koeficienty trigonometrické řady,

$\frac{2\pi}{T} = \omega_1 \dots$  základní kruhová frekvence harmonického rozvoje,

$\frac{2\pi n}{T} = \omega_n \dots$  frekvence vyšších harmonických složek rozvoje.

Uvažujeme-li, že  $f(x)$  je funkce periodická s periodou  $T$  a že  $f(x)$  a  $f'(x)$  jsou po částech spojitě v základním intervalu  $(0, T)$ , pak pro koeficienty Fourierovy řady platí vztah (3.5, 3.6):

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) \cos\left(\frac{2\pi nx}{T}\right) dx, \quad (n=0, 1, 2, \dots), \quad (3.5)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) \sin\left(\frac{2\pi nx}{T}\right) dx, \quad (n=1, 2, 3, \dots). \quad (3.6)$$

Pak v každém bodě  $x$ , v němž  $f(x)$  je spojitá, platí vztah (3.7):

$$\frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left( a_n \cos\left(\frac{2\pi nx}{T}\right) + b_n \sin\left(\frac{2\pi nx}{T}\right) \right) = f(x), \quad (3.7)$$

a v každém bodě  $x$ , kde  $f(x)$  není spojitá, platí vztah (3.8):

$$\frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left( a_n \cos\left(\frac{2\pi nx}{T}\right) + b_n \sin\left(\frac{2\pi nx}{T}\right) \right) = \frac{1}{2} [f(x+0) + f(x-0)]. \quad (3.8)$$

V případě, že:

- je  $f(x)$  lichá funkce, tj. je-li  $f(-x) = -f(x)$ , pak podle výpočtů koeficientů Fourierovy řady platí, že  $a_n = 0$  pro  $n=0, 1, 2, \dots$  - řada obsahuje jen sinové členy,
- je  $f(x)$  sudá, tj. je-li  $f(-x) = f(x)$ , pak  $b_n = 0$  pro  $n=1, 2, \dots$  - řada obsahuje jen konstantní členy  $a_0/2$  a kosinové členy.

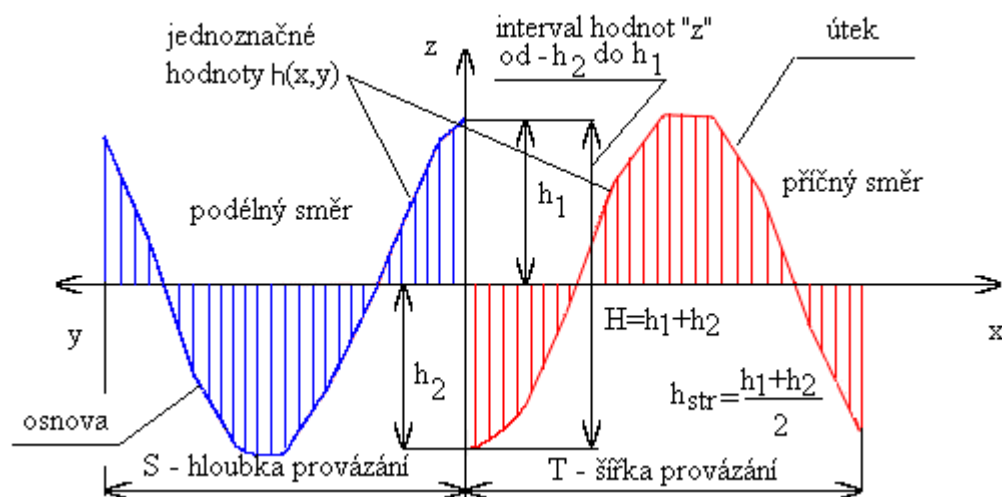
#### Poznámka 1.

*K platnosti rovnic (3.7), resp. (3.8) je postačující, aby  $f(x)$  byla v  $(0, T)$  měřitelná, aby integrál  $\int_0^T |f(x)| dx$  konvergoval a aby bod  $x$  ležel uvnitř intervalu, v němž má  $f(x)$  konečnou variaci [35], [36], [37].*

Pro uplatnění Fourierovy řady v popisu provázání tkanin nestačí pouze vypsát vztahy o sinusových a kosinových složkách popisujících řady tak, jak je uváděno v literatuře (*Rektorys* [35], *Matušů* [36], *Angot* [37]). Vyžaduje to provedení hlubší teoretické, počítačové a experimentální studie na konkrétních tkaninách. Model zahrnuje charakteristiky jak příčných rovinných řezů tkaninou zvlášť ve směru osnovních a zvlášť ve směru útkových nití, ale také pokus o vytvoření charakteristiky celého prostorového reliéfu tkaniny, dle vztahu (29), (*Sirková* [30]), viz obr. 3.4, 3.5. Trojrozměrné zvlnění  $h(x,y)$  vyjádřeno vztahem (3.9) může být rozvedeno ve dvojnou Fourierovou řadu harmonických složek zvlnění, vyplývajícího z dvojného Fourierova integrálu [35].

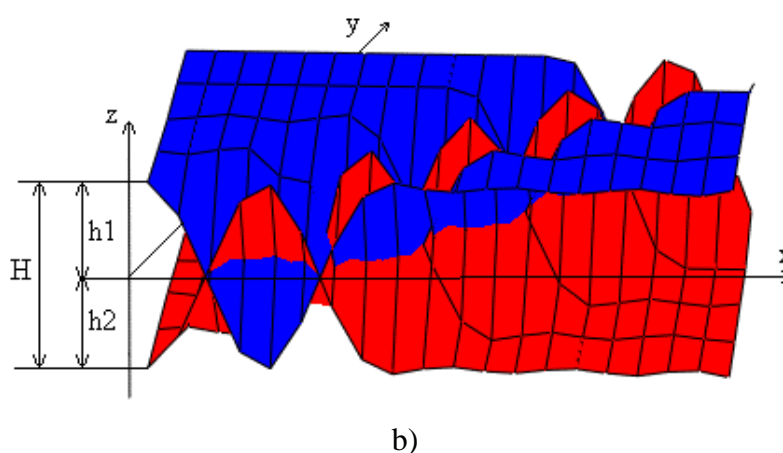
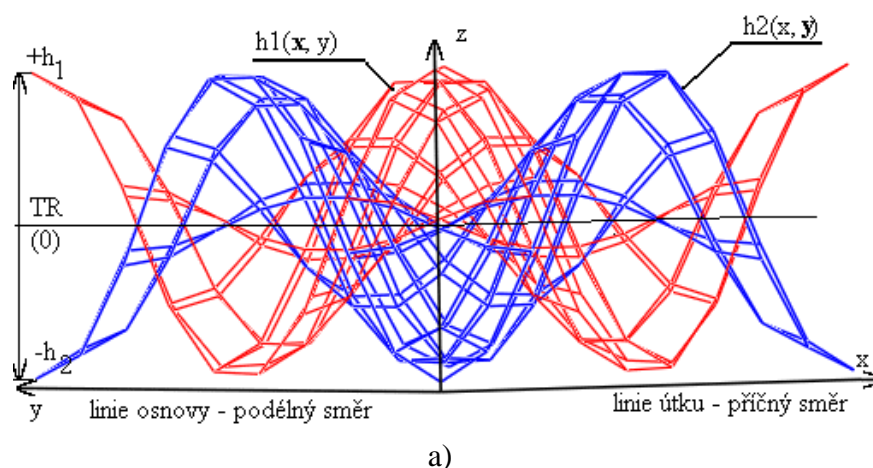
$$h(x, y) = \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ \underbrace{\left( a_{m,n} \cos\left(\frac{2\pi nx}{T}\right) + b_{m,n} \sin\left(\frac{2\pi nx}{T}\right) \right)}_{f(x, \underline{y})} \cos\left(\frac{2\pi my}{S}\right) + \underbrace{\left( c_{m,n} \cos\left(\frac{2\pi nx}{T}\right) + d_{m,n} \sin\left(\frac{2\pi nx}{T}\right) \right)}_{g(x, \underline{y})} \sin\left(\frac{2\pi my}{S}\right) \right\}, \quad (3.9)$$

kde  $f(x, \underline{y})$ ,  $g(x, \underline{y})$  jsou funkce rozvoje reliéfu podle linie útku v šířce tkaniny. (Rovnici lze přeskupit i do tvaru obsahující členy  $[k(\underline{x}, y) \cdot \cos(\frac{2\pi nx}{T})]$  a  $[l(\underline{x}, y) \cdot \sin(\frac{2\pi nx}{T})]$  pro rozvoj v místě  $\underline{x}$  směrem do hloubi osnovy. Koeficienty  $f(x, \underline{y})$ ,  $g(x, \underline{y})$  resp.  $k(\underline{x}, y)$ ,  $l(\underline{x}, y)$  mohou být reliéfně znázorněny nad vlnovými délkami rozvoje  $\lambda_x = \frac{2\pi nx}{T}$  ve směru útkové nitě i v kolmém směru nad vlnovými délkami  $\lambda_y = \frac{2\pi my}{S}$  ve směru osnovní nitě. Tím dostaneme prostorové rozložení vlnových délek obsažených v reliéfu – prostorové vlnové spektrum, viz obr. 3.6. Žádný dosud známý popis provázání nití ve tkanině neoperuje při popisu prostorového provázání jedinou společnou funkcí. Zde se však naskytá možnost použití vícenásobného Fourierova integrálu k dosažení nového prostorového reliéfu.

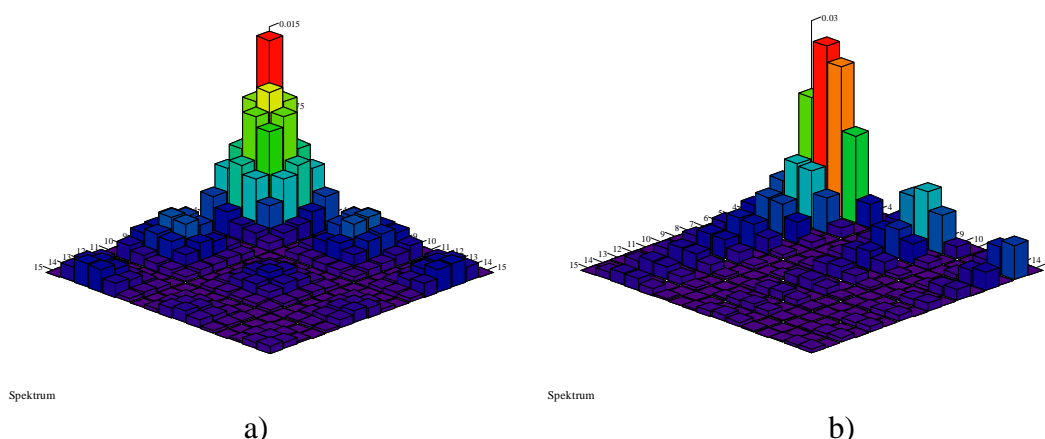


Obrázek 3.4: Charakteristika prostorového reliéfu provázání; zobrazení geometrie provázání v podélném a příčném směru [30]





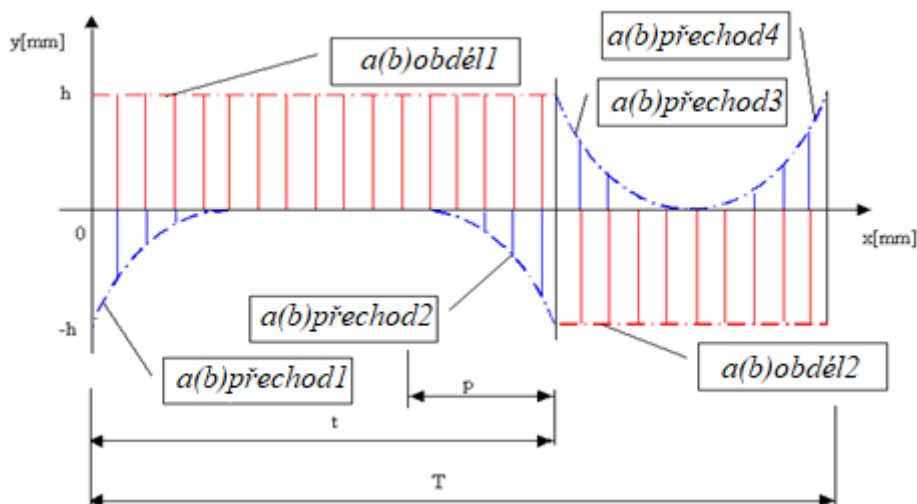
Obrázek 3.5: Charakteristika prostorového reliéfu provázání; a) prostorový model geometrie tkaniny v plátnové vazbě, b) prostorový model geometrie keprové vazby K1/4 (Z) [30]



Obrázek 3.6: Prostorové zobrazení vlnového spektra neplátnového provázání nití ve tkanině, a) symetrická vazba, b) asymetrická vazba [30]

Matematický model provázání jedné vazné vlny s využitím Fourierovy řady definuje parametry prostorové geometrie tkaniny v provázání plátnové i neplátnových vazeb. Kromě základních geometrických parametrů tkaniny jsou výstupem modelu amplitudové charakteristiky provázání pro různé typy vazeb. Amplitudové spektrální charakteristiky může sloužit v rámci hodnocení tkanin jako identifikátor provázání (vazby), a také k hodnocení vzniklých defektů v prostorové

geometrii tkaniny. Analýza vazné vlny provázání nití v příčném řezu tkaninou využívající Fourierovu řadu je definovaná na základě dvou základních jednoduchých komponent, obdélné a přechodové části vyjádřené vztahy (3.10-3.15), viz obr. 3.7.



Obrázek 3.7: Zobrazení rozkladu základních komponent modelu provázání využívajícího Fourierovu řadu [30]

První komponenta modelu – obdélná definuje periodický obdélný tvar, který má úzkou spojitost s již výše zmiňovanou vzornicí provazujících vazných bodů osnovy, s periodickou posloupností základních přechodových křivek nití z rubu na líc a naopak. Druhá komponenta - přechodová souvisí s ohybovými vlastnostmi nití a může být aproximovaná různými průběhy jednoduchých přechodových čar – přímkou, půlkruhově, parabolicky, hyperbolicky, harmonicky, apod. (Sirková [30, 38, 39]).

Z výše uvedeného znázornění pro vyjádření provázání nití v prostorové geometrii tkaniny plynou vztahy (3.10 – 3.15) pro koeficienty Fourierovy řady:

$$a_{jn} = aobdel_{jn} + apřechod_{jn}, \quad (3.10)$$

$$b_{jn} = bobdel_{jn} + bpřechod_{jn}, \quad (3.11)$$

$$\text{kde: } aobdel_{jn} = aobdel1_n + aobdel2_n, \quad (3.12)$$

$$bobdel_{jn} = bobdel1_n + bobdel2_n, \quad (3.13)$$

$$apřechod_{jn} = apřechod1_n + apřechod2_n + apřechod3_n + apřechod4_n, \quad (3.14)$$

$$bpřechod_{jn} = bpřechod1_n + bpřechod2_n + bpřechod3_n + bpřechod4_n. \quad (3.15)$$

Všechny části průběhu (tj. všechny zdvihy nad i pod tkací rovinu) celé vazné vlny s periodou  $T$  upravené pro  $j$ -tý útek, resp. osnovu provazující ve tkanině, viz.obr. 3.7, lze vyjádřit z tvaru Fourierovy řady dle vztahu (3.4). Fourierova řada pro  $j$ -tý útek, resp. osnovu ve střídě vazby pak bude v goniometrickém tvaru daného vztahem (3.16):

$$y_j(x) = h_{j0} + \sum_{(n)} \left( a_{jn} \cos \left( \frac{2\pi nx}{T} \right) \right) + \sum_{(n)} \left( b_{jn} \sin \left( \frac{2\pi nx}{T} \right) \right), \quad (3.16)$$

kde:  $h_{j0}$  - střední vyzdvižení  $j$ -tého útku nad tkací rovinu. Vyzdvižení je obvykle malé a neobsahuje žádnou významnou informaci o struktuře provázání,

$a_{jn} \cos \left( \frac{2\pi nx}{T} \right)$ ,  $b_{jn} \sin \left( \frac{2\pi nx}{T} \right)$  - dílčí složky zvlnění útku ve vazbě na vlnových délkách  $T/n$ . Obecně – u výpočtu základních koeficientů Fourierovy řady pro všechny základní typy provázání, u kterých je vazná vlna složena z konstantního počtu přechodových úseků, plynoucích ze základního plátna, a úseku flotážního - měnicího se podle velikosti vazby platí vztahy (3.17), (3.18):

$$a_{jn} = \frac{2}{T} \left[ \underbrace{\int_0^t h \cos \left( \frac{2\pi nx}{T} \right) dx + \int_t^T -h \cos \left( \frac{2\pi nx}{T} \right) dx}_{a_{obdél\ jn}} \right] + \frac{2}{T} \left[ \underbrace{\left( \int_0^p f(x) \cos \left( \frac{2\pi nx}{T} \right) dx + \int_{t-p}^t f(x) \cos \left( \frac{2\pi nx}{T} \right) dx \right) + \left( \int_t^{t+p} f(x) \cos \left( \frac{2\pi nx}{T} \right) dx + \int_{T-p}^T f(x) \cos \left( \frac{2\pi nx}{T} \right) dx \right)}_{a_{přechod\ jn}} \right] \quad (3.17)$$

$$b_{jn} = \frac{2}{T} \left[ \underbrace{\int_0^t h \sin \left( \frac{2\pi nx}{T} \right) dx + \int_t^T -h \sin \left( \frac{2\pi nx}{T} \right) dx}_{b_{obdél\ jn}} \right] + \frac{2}{T} \left[ \underbrace{\left( \int_0^p f(x) \sin \left( \frac{2\pi nx}{T} \right) dx + \int_{t-p}^t f(x) \sin \left( \frac{2\pi nx}{T} \right) dx \right) + \left( \int_t^{t+p} f(x) \sin \left( \frac{2\pi nx}{T} \right) dx + \int_{T-p}^T f(x) \sin \left( \frac{2\pi nx}{T} \right) dx \right)}_{b_{přechod\ jn}} \right] \quad (3.18)$$

Z uvedených vztahů (3.10)-(3.15) plyne vztah amplitudy obdélníkových harmonických složek (3.19), fázové posuny obdélníkových harmonických složek (3.20), amplitudy přechodových harmonických složek (3.21), fázové posuny přechodových harmonických složek (3.22).

$$A_{obdél\ jn} = \sqrt{(a_{obdél\ jn})^2 + (b_{obdél\ jn})^2}, \quad (3.19)$$

$$\phi_{obdél_{jn}} = \arctg \frac{b_{obdél_{jn}}}{a_{obdél_{jn}}}, \quad (3.20)$$

$$A_{přechod_{jn}} = \sqrt{(a_{přechod_{jn}})^2 + (b_{přechod_{jn}})^2}, \quad (3.21)$$

$$\phi_{přechod_{jn}} = \arctg \frac{b_{přechod_{jn}}}{a_{přechod_{jn}}}. \quad (3.22)$$

Posloupnosti těchto koeficientů s rostoucím koeficientem (měnící se s vlnovou délkou  $T/n$ ) vytvoří jisté charakteristické obrazy – rozložení špiček a důlků – podle typu vazby ve střídě (vliv velikosti úseků  $t$ ,  $T-t$ ) a podle tvaru přechodových čar (vliv tuhosti a struktury nití, napjatosti tkaniny atd.). Na základě výše uvedeného obecného popisu je možné pro hodnocení provázání použít tři nezávislá spektra (nezávislé charakteristiky) a to:

- samostatné spektrum – spektrální charakteristiku střídý vazby pro  $j$ -tý útek,
- zvlášť spektra – spektrální charakteristiku přechodových (ohybových) úseků,
- zvlášť spektrum – spektrální charakteristika provázání, vzniklé součtem dvou výše uvedených spekter.

Každé z těchto spekter je ovšem způsobeno jinou vlastností tkaniny. První spektrum (spektrální charakteristika střídý vazby pro  $j$ -tý úsek) je ovlivněno volbou vzoru ze strany desinatéra, druhé spektrum závisí na vlastnostech užitého textilního materiálu, jeho přípravy a způsobu tkaní, poslední je výsledné spektrum hodnotící vlastní vzor včetně vlastností nití použitých pro tkaní.

Jako příklad přechodové funkce  $f(x)$  lze uvést explicitní vyjádření paraboly (viz vztah (3.23)), která byla v rámci disertační práce (Sirková [30]) spolu s dalšími tvary (přímka, sinusovka, hyperbola, půlkruh) rozpracovaná a porovnávána v rámci finálního matematického vyjádření modelu vazné vlny využívajícího Fourierových řad. Matematické vyjádření modelu provázání s přechodovou funkcí parabolického tvaru při porovnání s reálným tvarem vazné vlny vykazovalo na základě statistického hodnocení nejvyšší shodu z hlediska délky nitě ve vazné vlně a definice tvaru ohybové čáry (Sirková [29, 30, Kolčavová Sirková [31]). Ze vztahu (3.14), (3.15) a (3.23) plyne vztah (3.24) a (3.25) vyjadřující výpočet koeficientů přechodových křivek Fourierovy řady.

$$f(x) = \frac{(x - p_m)^2}{\pm \left( \frac{p^2}{h} \right)} \quad (3.23)$$

kde:

$p_m$  – obecné vyjádření posunu dílčího intervalu na intervalu  $T$ ,

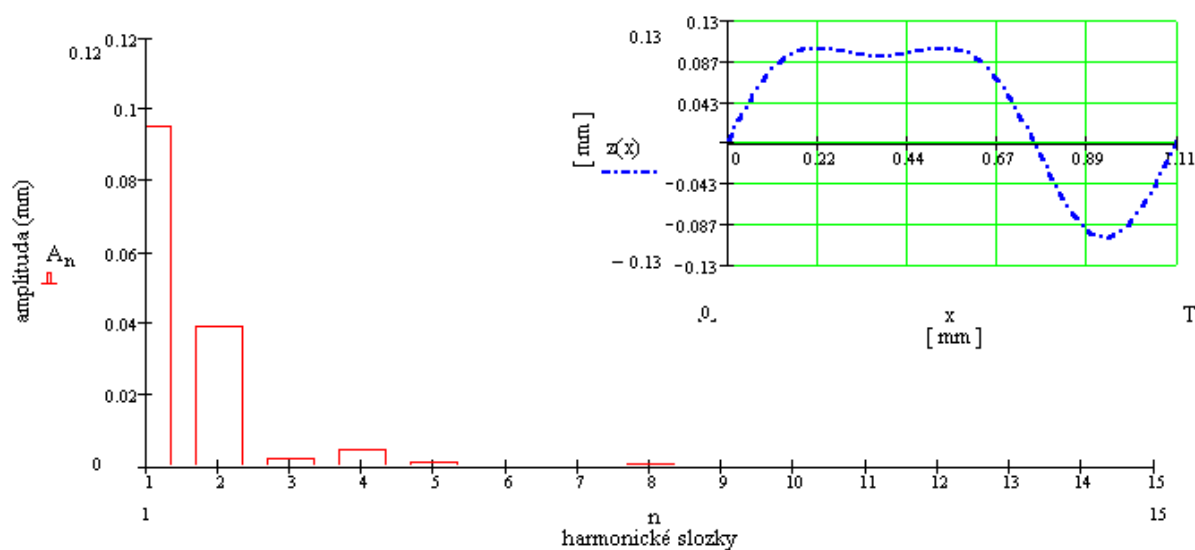
$p$  – velikost dílčího intervalu; předpokladem u vazeb je, že velikost všech dílčích částí je konstantní (změna nastává vlivem chybného procesu, nebo změnou parametru tkaniny),

$h$  – výška přechodového úseku; předpokladem u vazeb je, že výška má být konstantní, změna nastane změnou tkacího procesu, převážně odezní po změně napětí v jednotlivých soustavách.

$$apřechod_{jn} = \frac{2}{T} \left[ \left( \int_0^p \left[ \frac{(x-p)^2}{-\left(\frac{p^2}{h}\right)} \right] \cos\left(\frac{2\pi nx}{T}\right) dx + \int_{t-p}^t \left[ \frac{(x-(t-p))^2}{-\left(\frac{p^2}{h}\right)} \right] \cos\left(\frac{2\pi nx}{T}\right) dx \right) + \right. \\ \left. \int_t^{t+p} \left[ \frac{(x-(t+p))^2}{\left(\frac{p^2}{h}\right)} \right] \cos\left(\frac{2\pi nx}{T}\right) dx + \int_{T-p}^T \left[ \frac{(x-(T-p))^2}{\left(\frac{p^2}{h}\right)} \right] \cos\left(\frac{2\pi nx}{T}\right) dx \right] \quad (3.24)$$

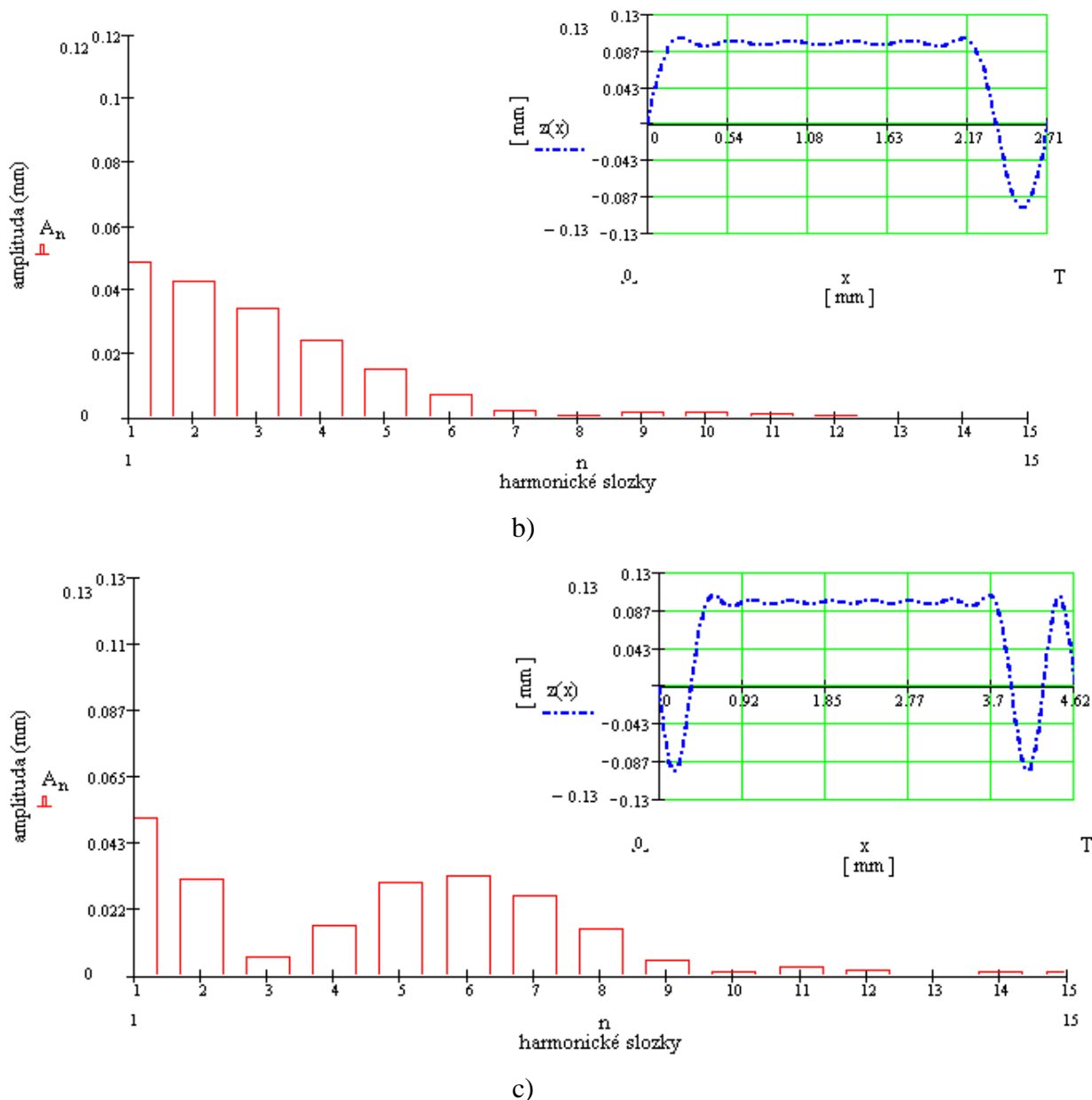
$$bpřechod_{jn} = \frac{2}{T} \left[ \left( \int_0^p \left[ \frac{(x-p)^2}{-\left(\frac{p^2}{h}\right)} \right] \sin\left(\frac{2\pi nx}{T}\right) dx + \int_{t-p}^t \left[ \frac{(x-(t-p))^2}{-\left(\frac{p^2}{h}\right)} \right] \sin\left(\frac{2\pi nx}{T}\right) dx \right) + \right. \\ \left. \int_t^{t+p} \left[ \frac{(x-(t+p))^2}{\left(\frac{p^2}{h}\right)} \right] \sin\left(\frac{2\pi nx}{T}\right) dx + \int_{T-p}^T \left[ \frac{(x-(T-p))^2}{\left(\frac{p^2}{h}\right)} \right] \sin\left(\frac{2\pi nx}{T}\right) dx \right] \quad (3.25)$$

Spektrální charakteristika provázání – rozdíl mezi zvolenou základní periodickou funkcí a skutečným celkovým průběhem byla v rámci disertační práce (Sirková [30]) porovnávána s experimentálně zjištěnými průběhy vazných vln z konkrétních řezů tkaninou. Spektrální charakteristiky popisující provázání různých typů vazeb konvergují s jistou výraznou zákonitostí. V rámci disertační práce byl vytvořen katalog jednotlivých typů vazeb, z nichž vybrané jsou prezentovány na obr. 3.8.



a)





Obrázek 3.6: Amplitudová charakteristika vazeb vycházející z modelu provázání s využitím Fourierovy řady; a) amplitudová charakteristika K1/2(Z), b) amplitudová charakteristika K(A)1/7, d) amplitudová charakteristika víceřádkového kepru K1/7/1/1(Z) [30]

Z matematické analýzy vyplývá, že mezi základní parametry ovlivňující tvar spektra patří: základní velikost střidy vazby/vzoru  $T$ , velikost dílčích intervalů – velikost přechodových úseků, počet přechodových úseků – složitost vazby, výška provázání. Mezi výstupní geometrické parametry získané z popisu vazné vlny na základě Fourierovy řady, ovlivňující jak silové, tak i deformační poměry mezi osnovou a útkem ve vazné buňce vzniklé ve tkanině během i po vlastním procesu tkaní, patří: délka nitě ve vazné vlně ve střídě vazby (v osnově i v útku)  $L_{1,2}$ , úhel provázání (v osnově  $\varphi_1$  i v útku  $\varphi_2$ ) a amplitudové spektrum, které reaguje na změnu základní parametrů plošné a prostorové geometrie tkaniny. Matematický model využívající Fourierovu řadu k definici průhybové čáry prostorové geometrie provázání nití ve vzoru lze využít při modelování chování tkanin spojené s aplikací numerických modelů využívajících metod konečných prvků.

## 4 Predikce vybraných vlastností tkanin na základě definice struktury tkaniny

Každá změna v procesu tvorby textilie se odrazí ve vzniklé struktuře, jejím prostřednictvím ve vlastnostech, a tím i v kvalitě. Snaha o dokonalejší pochopení těchto souvislostí není inspirována jen obecnou potřebou člověka porozumět věcem a dějům, které nás obklopují. Hlubší poznání je nutností diktovanou potřebami vývoje textilní výroby i souvisejících odvětví.

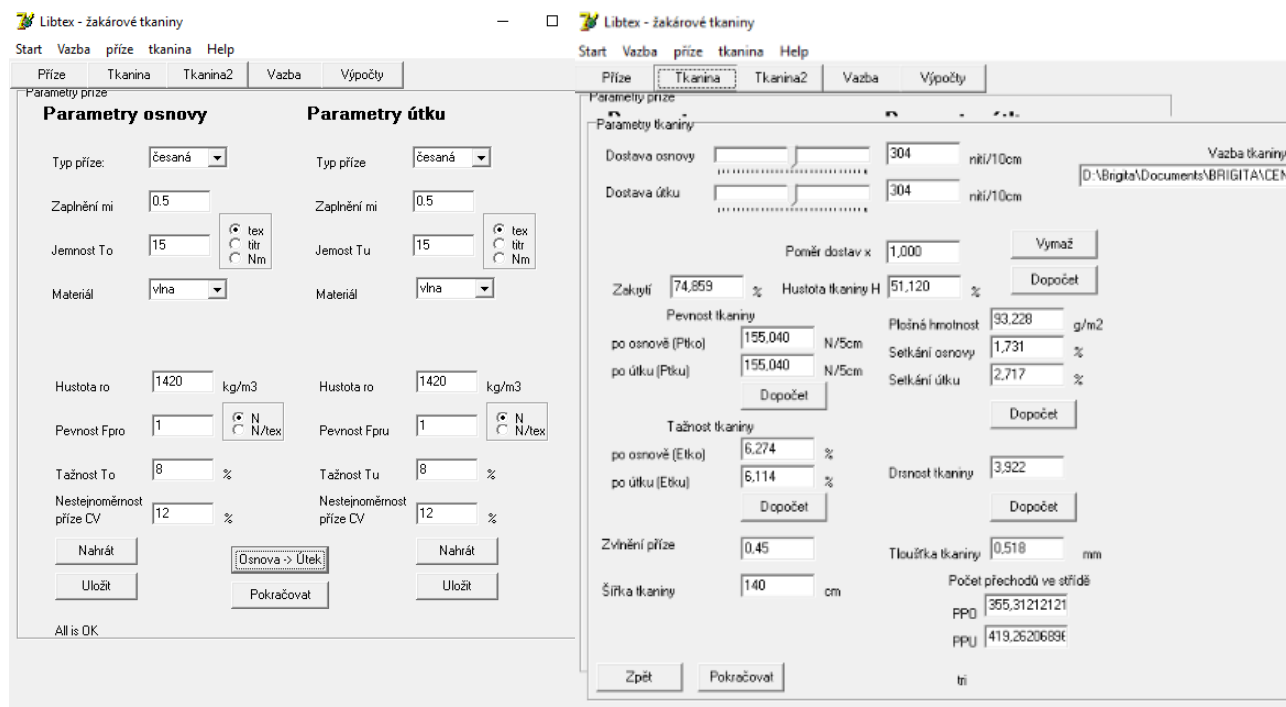
Mnohé významné vlastnosti vláknitých útvarů lze zatím zjišťovat jen pracnými experimentálními postupy. Pro definici stěžejních vlastností zaměřených na hodnocení povrchových, užitných i mechanicko-fyzikálních vlastností jednotlivých forem vláknitých útvarů dosud nejsou k dispozici dostatečné formulace a modelová řešení založená na teoretickém základu vycházejícím ze znalostí hlavních zákonitostí tvorby, struktury a vlastností vnitřního uspořádání vláknitých útvarů. Zákonitosti tvorby, struktury a vlastností vláknitých útvarů, tj. zákonitosti příčinných souvislostí některých stránek kvality, lze dobře využívat při řešení inovace vlákenné suroviny, textilních strojů a textilní technologie.

Poměry ve tkanině jsou poměrně složité. Pro sledování závislostí mezi strukturou, tkacím procesem a výslednými vlastnostmi tkaniny je možné operovat s teoretickými úvahami a modely mnohdy doplněnými empirickými poznatky s vhodnou matematickou formulací. Plošná a prostorová geometrie tkanin je stěžejní pro modelování jak dynamických procesů spojených s tvorbou tkaniny, tak statických procesů spojených s definicí vlastností tkaniny v ustáleném stavu. Zjednodušující předpoklady navržených modelů struktury tkaniny určených k hodnocení určitých užitných, mechanických i povrchových vlastností můžou s dostatečnou přesností zachytit vliv konstrukce tkaniny (materiálu, provázání, dostavy) na výsledné chování tkaniny.

Cílem je navrhnout modelovou představu listové a žakárské tkaniny, která umožní predikovat vybrané vlastnosti tkanin v ustáleném stavu pro možné posouzení její vhodnosti z pohledu její aplikace ještě před její vlastní výrobou. Modelová představa tkaniny vychází z předpokladu, že základní rozměry strukturálních prvků jsou již neměnné. Pro sledování závislostí mezi strukturou a výslednými vlastnostmi tkaniny jsou použité teoretické úvahy v plošné a prostorové geometrii tkaniny, matematické a geometrické modely doplněné empirickými poznatky. Dostatečně operativní model struktury tkaniny popisující morfologii tkaniny může být použit v numerických modelech (MKP) pro simulaci a možné hodnocení chování tkanin při změnách sil a deformací v čase. Cílem uvedených kapitol habilitační práce není sledování struktury listových a žakárských tkanin v rámci dynamických procesů spojených s tvorbou tkaniny na tkacím stroji.

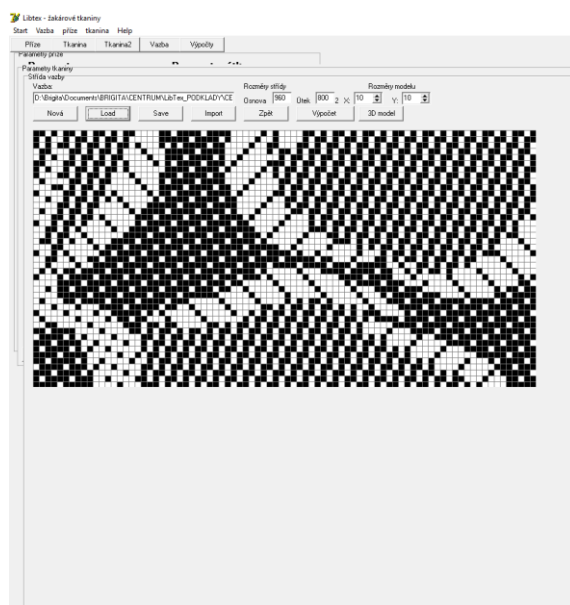
Výzkumem v oblasti modelování chování a vlastností tkanin jak statických, tak dynamických procesů se zabývali i jiní autoři (*Nosek* [5], *Peirce* [21], *Olofsson* [22], *Dvořák* [28], *Lomov* [41], *Verpoest* [42], *Behera* [43], *Vanaerschot* [44]). Autorkou navržená modelová struktura tkaniny (*Kolčavová Sirková*, [45], [46]) vyjádřená na základě parametrů plošné a prostorové geometrie byla využita při sestavení softwarů Libtex a ProTkaTex. Software Libtex je určen k projektování textilií v modulech vlákno, příze, tkanina (listová), přičemž verzi ProTkaTex lze využít k projektování tkanin listových a žakárských (*Kolčavová Sirková*, *Mertová*, *Holada*, *Janoušek*, [47]), viz obr. 4.1. Uvedený software slouží pro predikci vybraných mechanických a užitných vlastností listových i žakárských tkanin. Vstupními parametry jsou vlastnosti přízí a použitá struktura tkaniny (*Kolčavová Sirková* [48], *Kolčavová Sirková*, *Mertová* [49, 50, 51]). Software

je kompatibilní s komerčními CAD systémy používanými při výrobě tkanin v operaci přípravy vazebné vzornice listových a žakárských tkanin. Vygenerovaná vzornice z CAD systému je následně zpracovávána v softwaru ProTkaTex, jehož výstupem je predikce vybraných vlastností tkanin, viz obr. 4.2.

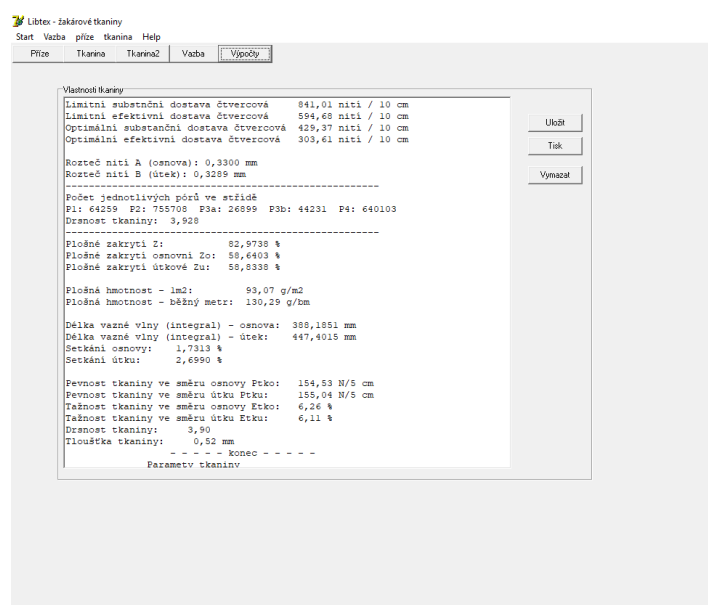


a)

b)



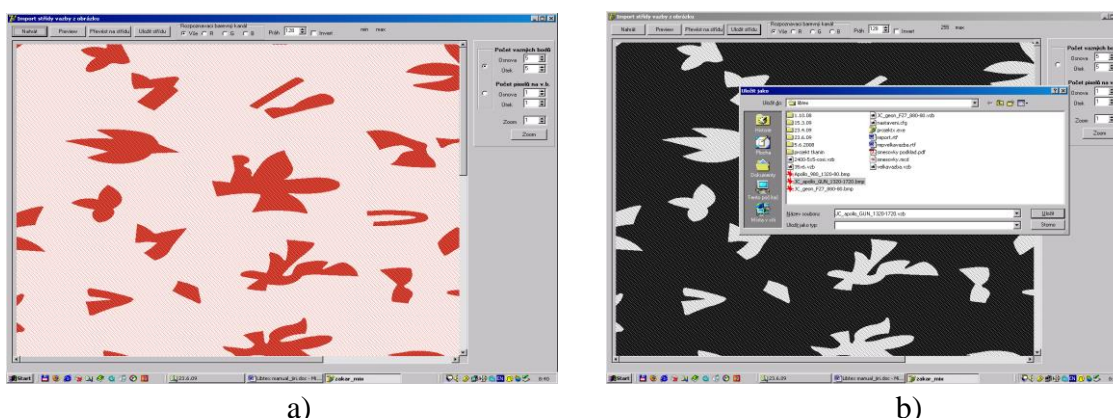
c)



d)

Obrázek 4.1: Ukázka prostředí softwaru ProTkaTex; a) parametry příze, b) predikované parametry a vlastnosti tkaniny, d) definice provázání (vazba/vzor), d) vygenerovaný protokol predikovaných parametrů a vlastností tkaniny [50]

Algoritmy použité pro predikci vlastností tkaniny jsou postaveny na základních principech struktury příze tj. na definici průměru příze a zaplnění příze (Neckář [52], Hearle [53]) a struktury tkanin tj. na definici vybraných parametrů plošné a prostorové geometrii tkaniny. Formulace výpočtů jsou buď převzaté od jiných autorů, kteří se danou problematikou zabývali nebo jsou navržené autorkou. S využitím uvedeného programu lze predikovat tyto vlastnosti tkaniny: pevnost a tažnost tkaniny ve směru osnovy a útku (Kovář [54]), hustota tkaniny (Nosek [55]), setkání nití ve tkanině, tloušťka tkaniny, geometrická drsnost tkaniny (Kolčavová Sirková [48], [51], [56]), včetně plošného zakrytí a plošné hmotnosti tkaniny. Další níže uvedené kapitoly jsou zaměřené na popis modelů navržených autorkou.



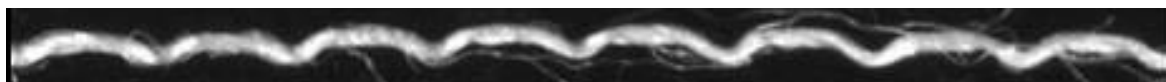
Obrázek 4.2: Ukázka zpracování vazeb (vzornice) pro software ProTkaTex; a) vyvzorovaná vzornice v CAD systému EAT (komerční systém) ve formátu obrázku, b) převedená vzornice v programu ProTkaTex na strukturální vazné body [50]

#### 4.1 Predikce setkání nití ve tkanině listové a žakárské

Osnovní a útkové nitě jsou vloženy v rámci tkacího procesu do každého vazebného elementu v délce  $l_{1,2}$  rovnající se šíři rozestupu osnovních nití  $B$  ( $l_2=B$ ) a útkových nití  $A$  ( $l_2=A$ ). V důsledku vzájemného provázání osnovních/útkových nití dochází k zvlnění nití na výslednou délku nitě  $L_{1,2}$ . Na základě definovaných délek je možné odvodit výsledné setkání nití  $s_{1,2}$  dle vztahu (4.1), (4.2), které určuje rozdíl mezi délkou zvlněné nitě vlivem provázání  $L_{1,2}$  a délkou rovné nitě vložené do tkaniny  $l_{1,2}$  vyjádřený v procentech z délky rovné nitě vložené do tkaniny  $l_{1,2}$ . Při analýze setkání nití ve skutečné tkanině je celková délka nitě  $L_{1,2}$  délkou vypárané nitě z tkaniny a  $l_{1,2}$  je rozměr šířky a délky vzorku, ze které byla nit vypáraná. *Poznámka: pro stanovení  $L_{1,2}$  se vypáraná nit napne a tím se stanoví její celková délka.* Na obr. 4.3 je zobrazen skutečný tvar zvlněné vypárané nitě z tkaniny.

$$s_1 = \frac{(L_1 - l_1)}{l_1} \cdot 10^2, \quad (4.1)$$

$$s_2 = \frac{(L_2 - l_2)}{l_2} \cdot 10^2. \quad (4.2)$$



Obrázek 4.3: Zobrazení zvlnění skutečné nitě vypárané z tkaniny.

Pro modelování a predikci setkání nití ve tkanině je rozměr  $l_{1,2}$  vztažen k parametru střídý vazby. Střída je pravidelně se opakující plocha, která vzniká kombinací vazebních buněk provázání, a tím zohledňuje podíl všech vazebních způsobů provázání nití ve tkanině. Při hodnocení tkaniny z hlediska jejího chování vzhledem k jakémukoliv parametru nebo vlastnosti je nedostatečné, když se tkanina hodnotí na základě jednoho vybraného vazného elementu ze střídý vazby. Teoreticky, na setkání se podílí pouze strukturální vazné buňky, u kterých dochází ke křížení nití, flotážní strukturní buňky provázání vytváří nulové setkání. Největší setkání z pohledu vazby dosahuje vazba plátňová, u neplátňových vazeb s rostoucí flotáží setkání nití ve tkanině klesá.

*Poznámka: U přehuštěných, limitních dostav nití ve tkanině v místě flotáže může docházet k posuvu nití pod flotáží. Vzniká stav, kde vložená délka nitě ve flotující části vazného prvku není rovna rozestupu nití pod flotáží, ale je větší, což vede k růstu setkání i u flotážních vazeb.*

Jak už bylo uvedeno výše, pro predikci setkání nití ve tkanině lze délku nitě  $l_{1,2}$  rovnající se šíři rozestupu osnovních nití  $B$  ( $l_2=B$ ) a útkových nití  $A$  ( $l_1=A$ ) přepočítat na délku vložené nitě celé střídý, kde  $l_{1(střídý)}$  se rovná délce střídý a  $l_{2(střídý)}$  se rovná šířce střídý. Teoreticky, výsledná délka rovné vložené nitě celé střídý je dána součtem dílčích rozestupů nití obsažených ve střídě vazby. Stanovení predikované hodnoty setkání nití ve tkanině  $s_1, s_2$  je možné vyjádřit vztahem (4.3) a (4.4), kde  $L_{1,2}$  je celková délka zvlněné nitě vazné vlny střídý vazby/vzoru, viz obr. 4.4.

$$s_1 = \frac{(L_1 - l_{1(střídý)})}{l_{1(střídý)}} \cdot 10^2, \quad (4.3)$$

$$s_2 = \frac{(L_2 - l_{2(střídý)})}{l_{2(střídý)}} \cdot 10^2. \quad (4.4)$$

Pro šířku  $l_{2(střídý)}$  a délku  $l_{1(střídý)}$  střídý / vzoru zobrazenou na obr 3.4 platí vztah (4.5), (4.6):

$$l_{2(střídý)} = \frac{n_1}{D_1} = pp_2 \cdot B + \text{flotáž}_2, \quad (4.5)$$

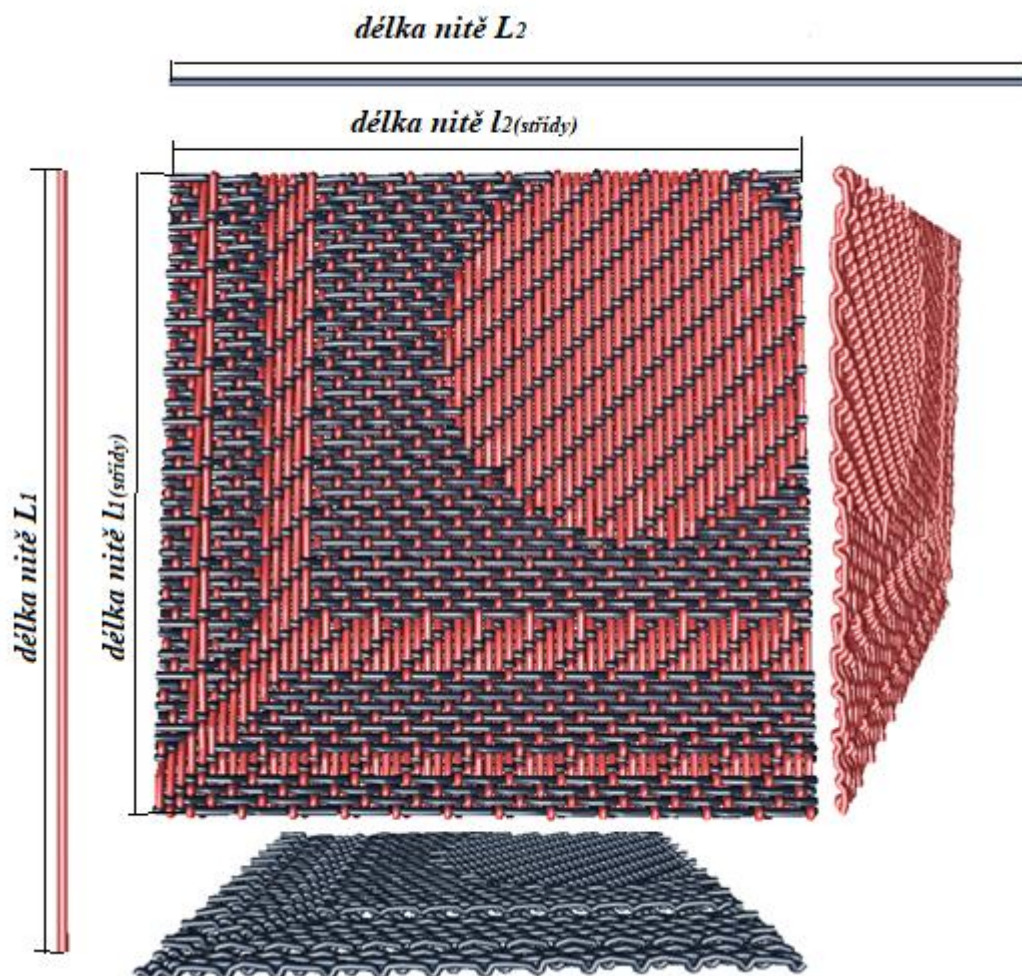
$$l_{1(střídý)} = \frac{n_2}{D_2} = pp_1 \cdot A + \text{flotáž}_1. \quad (4.6)$$

Na základě geometrie tkaniny je délka neprovazujícího flotážního úseku následně vypočtena z počtu nití ve střídě vazby  $n_{1,2}$  a přechodových (zakřížených) úseků  $pp_1, pp_2$  dle vztahu (4.7), (4.8).

$$\text{flotáž}_1 = \frac{n_2}{D_2} - pp_1 \cdot A, \quad (4.7)$$

$$\text{flotáž}_2 = \frac{n_1}{D_1} - pp_2 \cdot B. \quad (4.8)$$





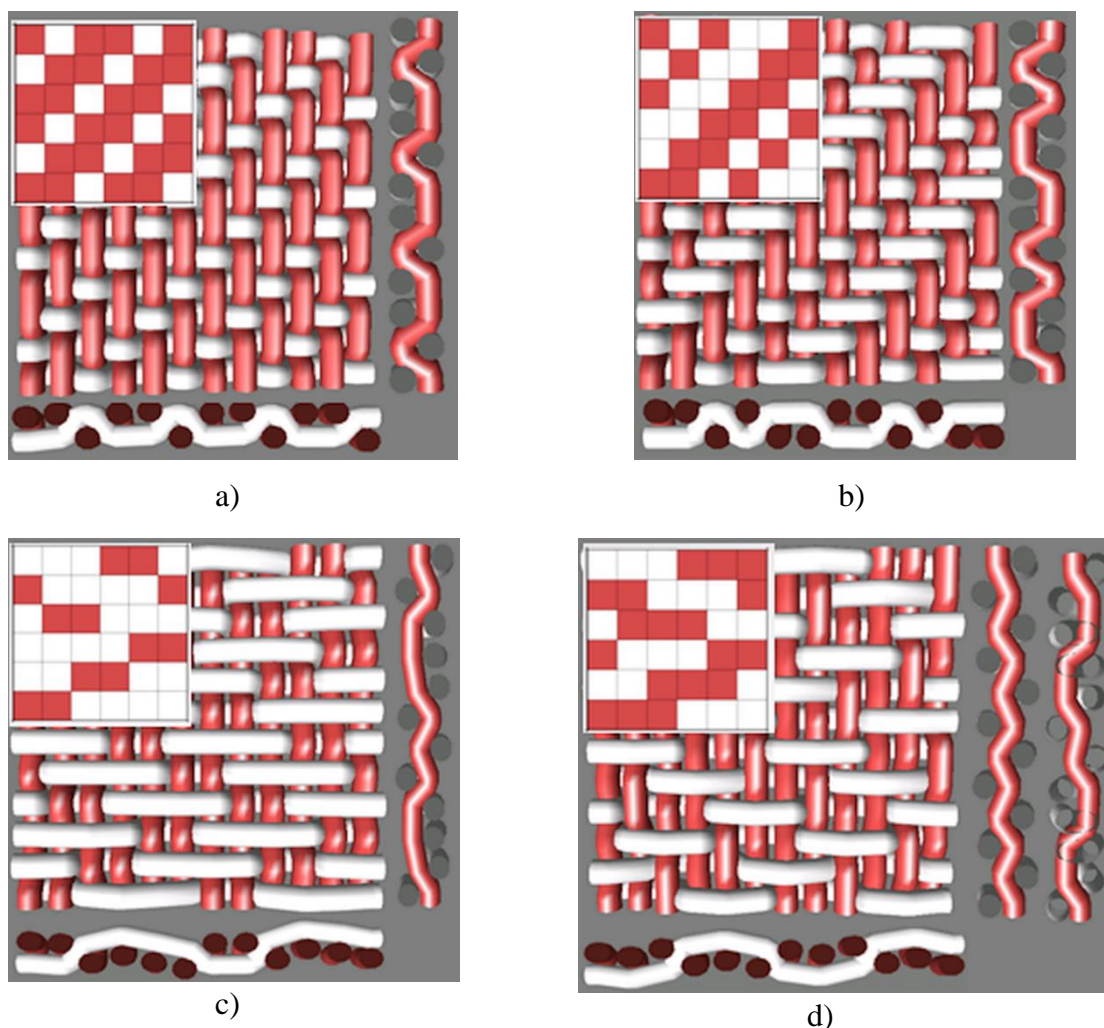
Obrázek 4.4: Definice provázání nití ve střídě vazby a délek nití pro vyjádření predikované hodnoty setkání nití ve tkanině

kde, střední počet přechodů (zakřížení) osnovních a útkových nití ve střídě vazby je dán vztahem (4.9), (4.10):

$$pp_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{n_1} \text{počet přechodů v osnovní mezeře}, \quad (4.9)$$

$$pp_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{n_2} \text{počet přechodů v útkové mezeře}. \quad (4.10)$$

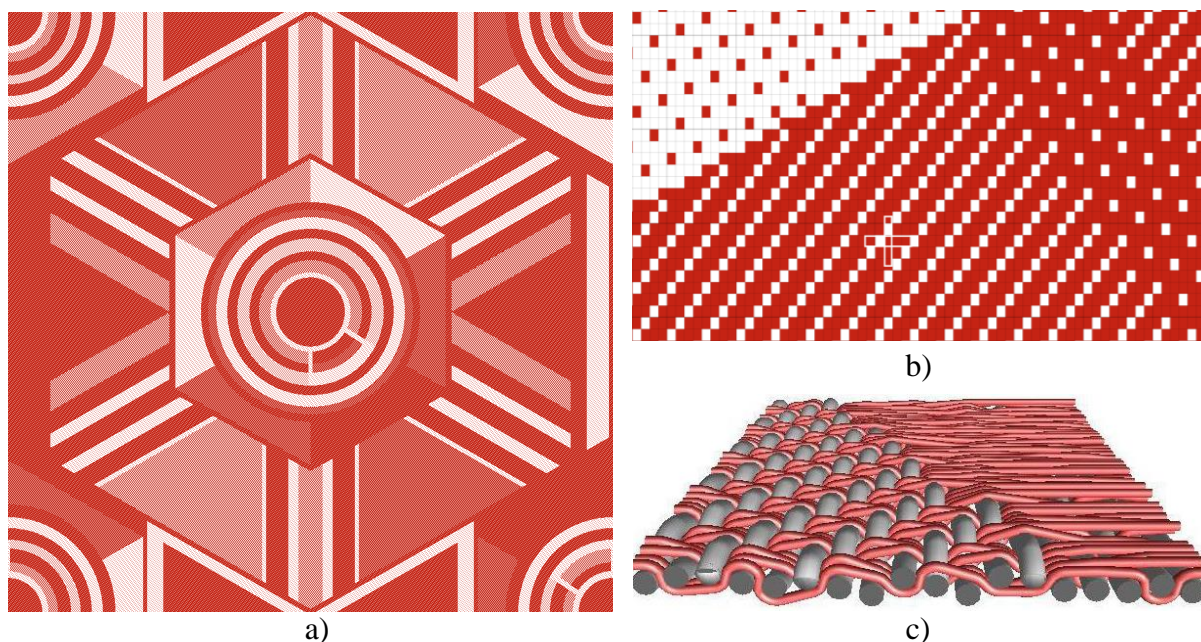
Základní vazby listové jsou vazby symetrické, kde na každé osnovní a útkové nití je stejný počet přechodů, přičemž střední počet přechodů u všech základních vazeb je  $pp_{1,2}=2$ . U odvozených vazeb listových může docházet k rozdílnému počtu přechodů u jednotlivých osnovních a útkových nití ve střídě vazby, viz obr. 4.5.



Obrázek 4.5: Definice počtu přechodů vybraných vazeb listových tkanin; a) K2/1(Z), ( $n_{1,2}=3$ ), ( $pp_{1,2}=2$ ), b) K 2/1/1/2(Z) ( $n_{1,2}=6$ ), ( $pp_{1,2}=4$ ), c) A 2/4 ( $n_{1,2}=6$ ), ( $pp_1=4$ ,  $pp_2=2$ ), d) A 3/3 ( $n_{1,2}=6$ ), ( $pp_1=4.7$ ,  $pp_2=2$ ) [50]

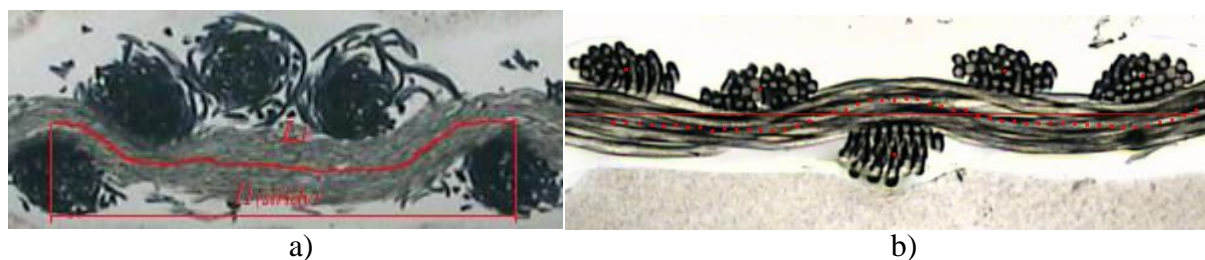
V případě vzorů žakárských tkanin, u kterých vzornice dosahují větších stříd (vzornice může obsahovat tisíce nití ve střídě vazby), je výpočet počtu přechodů vyjádřen z vazební vzornice na základě algoritmu softwaru ProTkaTex. Ve střídě vazby dochází k identifikaci osnovních a útkových vazných bodů v osnovních a útkových mezerách vzornice. Presentace vzornice žakárské tkaniny je na obr. 4.6.





Obrázek 4.6: Zobrazení a) vzornice (střídy) žakárské tkaniny b) detail vzornice), kde  $n_1=1200$  nití,  $n_2=880$  nití,  $pp_1=298$ ,  $pp_2=409$ , celkový počet strukturálních buněk ve střídě 1056000, strukturální buňky provázání P1=45775, P2=613028, P3↑7126, P3→6584, P4383487, b) detail prostorového provázání nití ve vzoru

Skutečnou délku nitě ve vazné vlně  $L_{1,2}$ , a skutečnou hodnotu setkání nití ve tkanině  $s_{1,2}$  je možné stanovit na základě experimentálních metodik. Při hodnocení lze vycházet ze tří základních postupů. První experimentální metoda je postavena na porovnávání délek vypárané nitě z tkaniny k šířce vzorku vyjádřené v procentech z šířky vzorku. Jedná se o tzv. palcovou metodu, jejíž výsledek je subjektivně ovlivněn hodnotitelem při měření vypárané nitě. Pro stanovení délky zvlněné nitě vypárané z tkaniny je nutné nit napnout palcem (od toho je odvozen název metody) a na pravítku jako měřidlo odečíst výslednou délku protažené zvlněné nitě. Druhá metoda vychází z hodnocení příčných a podélných řezů tkaniny pomocí obrazové analýzy. Jedná se o přesnější metodu stanovení výsledné délky zvlněné nitě, i když také částečně ovlivněné zpracovatelem obrazu. Základ metodiky je postaven na barevném skutečném obraze, ve kterém na základě nástrojů obrazové analýzy (*software NIS Elements* [57], *Interní norma* [58]) lze vytvořit náhradní binární obraz střednice vazné vlny, viz obr. 4.7 a). Proměřením délek střednice vazné vlny a délky střídy je možné hodnotit setkání nití. Metodiku postavenou na obrazové analýze je možné použít i pro stanovení dalších parametrů plošné a prostorové geometrie tkanin vyjádřené vektorem geometrických poměrů (3.1), viz obr. 4.7 (Kolčavová Sirková, Vyšanská [40]).



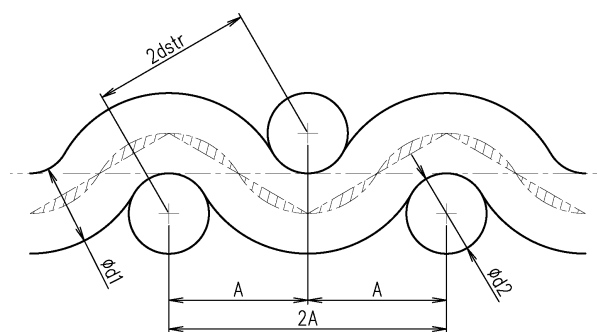
Obrázek 4.7: Využití obrazové analýza pro stanovení délky nitě ve vazné vlně příčného řezu tkaninou [30]

Třetí metoda pro stanovení hodnoty setkání je metoda, která vychází ze zpracování pracovních tahových křivek, kde se porovnávají nitě vypárané z tkaniny (zvlněné) a nitě nezatkané (rovné), ze kterých byla tkanina vyrobena (Neckář, Mertová [59]).

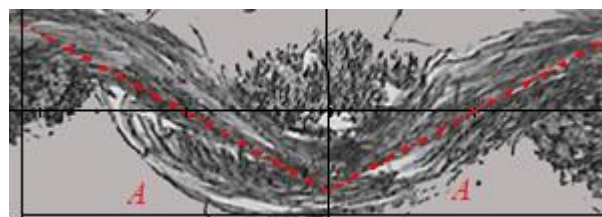
Výzkumem v oblasti definice setkání nití ve tkanině se zabývali i jiní autoři (Neckář, Mertová [59], Kawabata [560], Lomov [561], Kovar [62], Maqsood [63], Behera [64]). Teoretické stanovení setkání nití je postaveno na vyjádření délky nitě ve vazné vlně příčného řezu tkaninou pomocí různých geometrických i matematických modelů. Modely pro aproximaci vazné vlny využívají různých matematických funkcí, jejichž platnost definuje provázání nití v prostorové geometrii tkaniny.

Cílem této kapitoly není popis jednotlivých modelů a jejich analýza a potvrzení lepší nebo horší shody s reálným tvarem vazné vlny skutečné tkaniny. Tato část práce je zaměřena na nalezení jednoduchého nástroje predikce parametru setkání nití ve tkanině pro potřeby technologů tkaní pracujících v oblasti přípravy konstrukce tkaniny. Setkání nití ve tkanině je konstrukční parametr tkaniny důležitý pro definici spotřeby osnovních a útkových nití, pro výpočet šířky a délky tkaniny, a v neposlední řadě pro stanovení šířky paprskové a čísla paprsku. Setkání nití ve tkanině nemá vliv pouze na konstrukci tkaniny a tkací proces, ale také ovlivňuje následně celý proces úpravy tkaniny v rámci procesu zušlechťování.

Jak už bylo uvedeno, aproximace průhybové čáry nitě ve vazné vlně pro stanovení setkání nití může být řešena různými matematickými funkcemi. Od nejjednoduššího lineárního popisu, přes součet kruhového oblouku a přímky, paraboly, hyperboly nebo modelu postaveného na Fourierových řadách. V případě modelování je nutné si uvědomit, co chceme modelem dosáhnout. U některých parametrů je jednoduchost modelů nedostatečná a nevyhovující z hlediska jejich přesnosti a vlastního popisu. Konkrétně, úhel provázání nití ve tkanině, ovlivňující silové a deformační poměry, je závislý na přesnosti definice průhybové čáry vazné vlny ve tkanině. Naopak, zmiňovaná délka nitě průhybové čáry vazné vlny, ze stejné skupiny geometrických parametrů tkaniny jako úhel provázání nití, dosahuje stejné přesnosti při použití jednoduchých matematických formulací průhybové čáry jako složitější modely, které je možné pro definici vazné vlny použít. Jedná se o to, že možnosti v definici průhybové čáry jsou dány tvarem nitě. Rozdíly tvaru nitě ve vazné vlně jsou zobrazeny na obr. 4.8 a), kde šrafovaná část naznačuje v geometrii těsného provázání potenciální rozdíl v maximální délce vyjádřené obloukem kružnice a minimální délce vyjádřené lineárním popisem vazné vlny. Při analýze, predikce délek nití vyjádřených nejpoužívanějšími modely nejsou významné rozdíly, které by mohly vést k rozdílům v porovnání s reálně naměřenou hodnotou délky nitě ze skutečného řezu tkaninou, viz obr. 4.9.

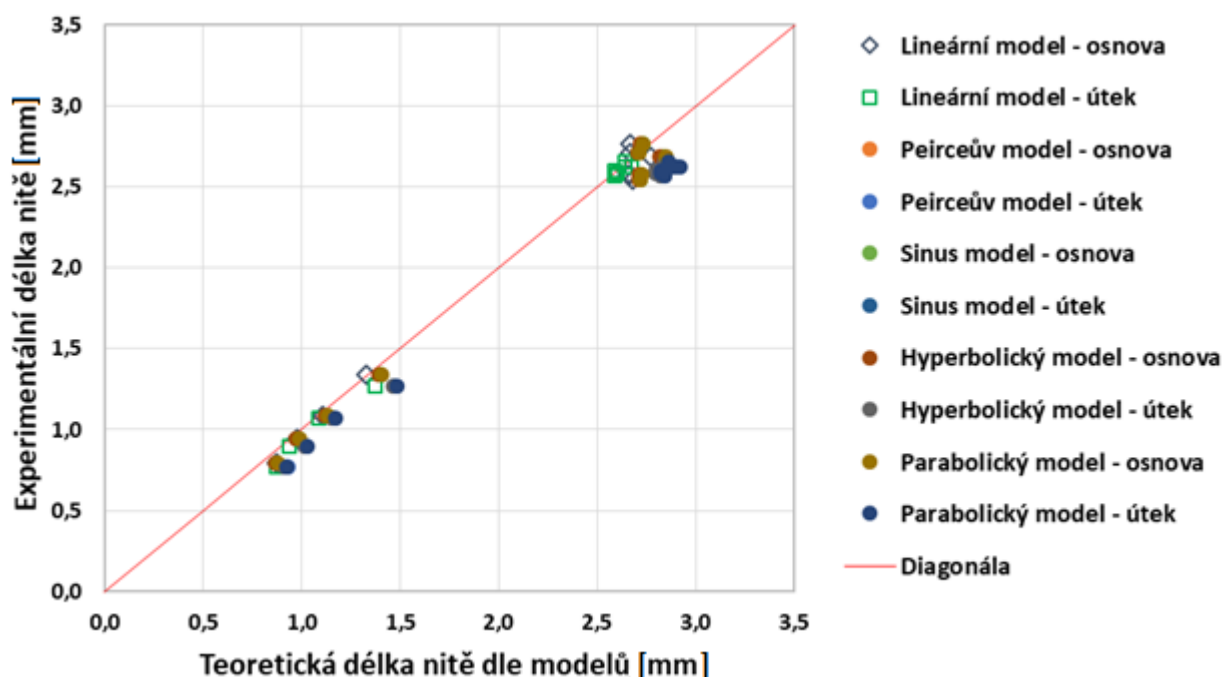


a)



b)

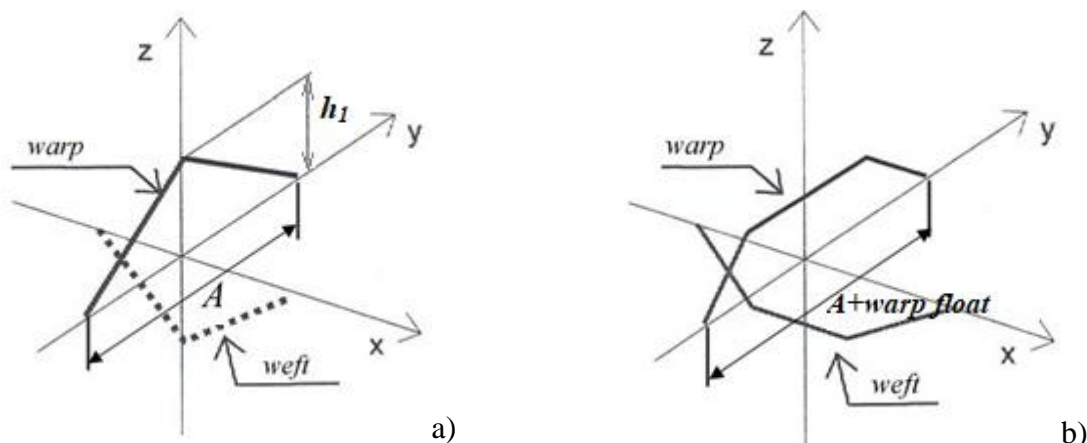
Obrázek 4.8: Vyjádření tvaru vazné vlny; a) zobrazení rozdílu v definici průhybu nitě ve vazné vlně těsného geometrii tkaniny v plátnové vazbě, b) zobrazení skutečného řezu s modelem lineárním [30]



Obrázek 4.9: Predikovaná délka nití ve vazné vlně příčného řezu tkaninou vztažena na střídu

Z důvodu jednoduchosti a stejné efektivity jako složitější modely je pro potřeby konstrukce tkaniny navržen a v této části práce použit lineární model pro vyjádření délky nitě průhybové čáry vazné vlny střídy  $L_{1,2}$  a následně pro vyjádření setkání nití ve tkanině. Modelová definice teoretického popisu vazeb listových i žakárských vychází z definice přímky v místě křížení a místě flotáže, viz obr. 4.10. Platnost lineární funkce je dána definičním oborem určeným příslušným rozestupem nití dle vztahu (4.11), (4.12).





Obrázek 4.10: Definice lineárního modelu v podélném řezu tkaninou, a) popis plátnové vazby, b) neplátnové vazby (stejná modelová situace je pro příčný řez tkaninou s rozestupem  $B$  [51])

Matematické vyjádření lineárního modelu pro plátnovou vazbu je dáno vztahy (4.11), (4.12) dle (obr. 4.10 a). Platnost lineární funkce je v tomto případě dána definičním oborem určeným polovinou rozestupu nití  $A$  ( $B$ ). Funkce má v daném případě kladnou hodnotu sklonu. Druhá symetrická část má zápornou hodnotu sklonu, s definičním oborem daným druhou polovinou rozestupu  $A$  ( $B$ ).

$$z = \frac{2h_1}{A} \cdot y + h_1 \quad -\frac{A}{2} \leq y \leq 0, \quad (4.11)$$

$$z = \frac{-2h_1}{A} \left( y - \frac{A}{2} \right) + h_1 \quad 0 \leq y \leq \frac{A}{2}. \quad (4.12)$$

Matematické vyjádření lineárního modelu pro neplátnové vazby je dáno vztahy (4.13-4.15) dle obr. 4.10 b). Místo křížení nití je definováno stejně jako v případě plátnové vazby. Neprovazující úsek flotáže je pro vyjádření délky neplátnových vazeb nahrazen úsečkou. Definiční obor funkce v místě flotáže je dán vztahem (4.14). *Poznámka: Obdobné vztahy je možno definovat pro rozestup  $B$ , výšku vazné vlny  $h_2$  a flotáž<sub>2</sub>.*

$$z = \frac{2h_1}{A} \left( y + \frac{A}{2} \right) + h_1 \quad \text{pro} \quad -A + \frac{\text{flotáž}_1}{2} < y < -\frac{A}{2}, \quad (4.13)$$

$$z = h_1 \quad \text{pro} \quad -\frac{A}{2} < y < \text{flotáž}_1, \quad (4.14)$$

$$z = \frac{-2h_1}{A} (y - \text{flotáž}_1) + h_1 \quad \text{pro} \quad \text{flotáž}_1 < y < \text{flotáž}_1 + \frac{A}{2}. \quad (4.15)$$

Z výše uvedeného popisu plyne pro délku nitě ve vazné vlně vztah (4.16), (4.17) vztažený na počet přechodů  $pp_{1,2}$  a velikost neprovázaného úseku  $\text{flotáž}_{1,2}$ . Takto stanovenou výslednou délku nitě ve vazné vlně lze použít pro predikci délky jak plátnové, tak i neplátnových vazeb používaných ve vzorování listových i žakárských tkanin.

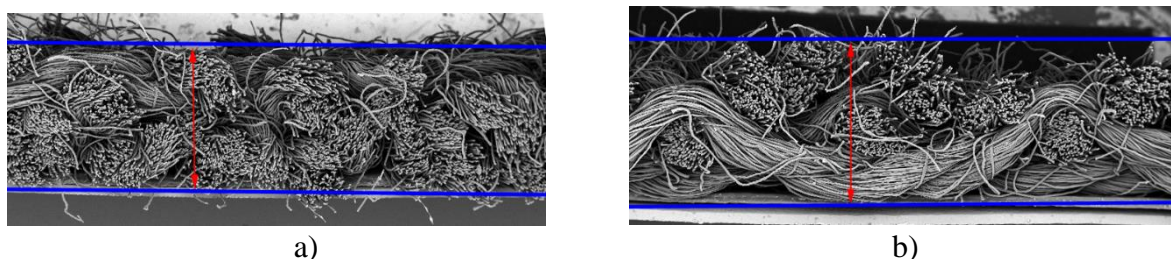
$$L_1 = 2 \cdot pp_1 \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{A}{2}\right)^2 + h_1^2\right]} + \text{flotáž}_1, \quad (4.16)$$

$$L_2 = 2 \cdot pp_2 \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{B}{2}\right)^2 + h_2^2\right]} + \text{flotáž}_2. \quad (4.17)$$

Grafické porovnání teoretické délky nitě ve vazné vlně lineárního modelu s ostatními modely je uvedeno na obr. 4.9.

#### 4.2 Predikce tloušťky tkaniny listové a žakárské

Tloušťka tkaniny je definována jako kolmá vzdálenost, která určuje rozměr mezi horní a spodní stranou tkaniny, viz obr. 4.11. Výzkumem v oblasti definice tloušťky tkaniny se zabývali i jiní autoři (Kovář [54], Neckář [65], Zafirova [66]).



Obrázek 4.11: Zobrazení tloušťky tkaniny na základě a) podélného řezu tkaninou, b) příčného řezu tkaninou [48]

Tloušťka tkaniny je ovlivněna a závisí na:

- a) plošné geometrii tkaniny z pohledu struktury tkaniny a parametrech vstupních délkových textilií definovaných přes průměr nití osnovy/útku, vazbu a dostavy nití ve tkanině,
- b) prostorové geometrii tkaniny z pohledu zvlnění nití ve tkanině.

Definice parametrů plošné geometrie s využitím průměru nití, provázání a dostavy nití ve tkanině je diskutována v předchozích kapitolách, včetně uvedení jejich platnosti v případě modelování a predikce vlastností tkaniny. Z pohledu prostorové geometrie tkaniny, jak už bylo uvedeno, dochází díky vzájemnému provázání nití ve tkanině ke zvlnění osnovních a útkových nití. Míru zvlnění nití ve tkanině lze vyjádřit na základě výšek vazných vln osnovní a útkové nitě ve tkanině. Výšky vazných vln představují vzdálenost osy osnovní/útkové nitě od roviny tkaniny, viz obr. 4.13-4.18. Relativní zvlnění osnovních  $e_1$ , resp. útkových  $e_2$  nití ve tkanině lze definovat na základě vztahu (4.18), (4.19), přičemž pro uvedená relativní zvlnění platí vztah (4.20).

$$e_1 = \frac{h_1}{d_{str}}, \quad (4.18)$$

$$e_2 = \frac{h_2}{d_{str}}, \quad (4.19)$$

$$e_1 + e_2 = 1. \quad (4.20)$$

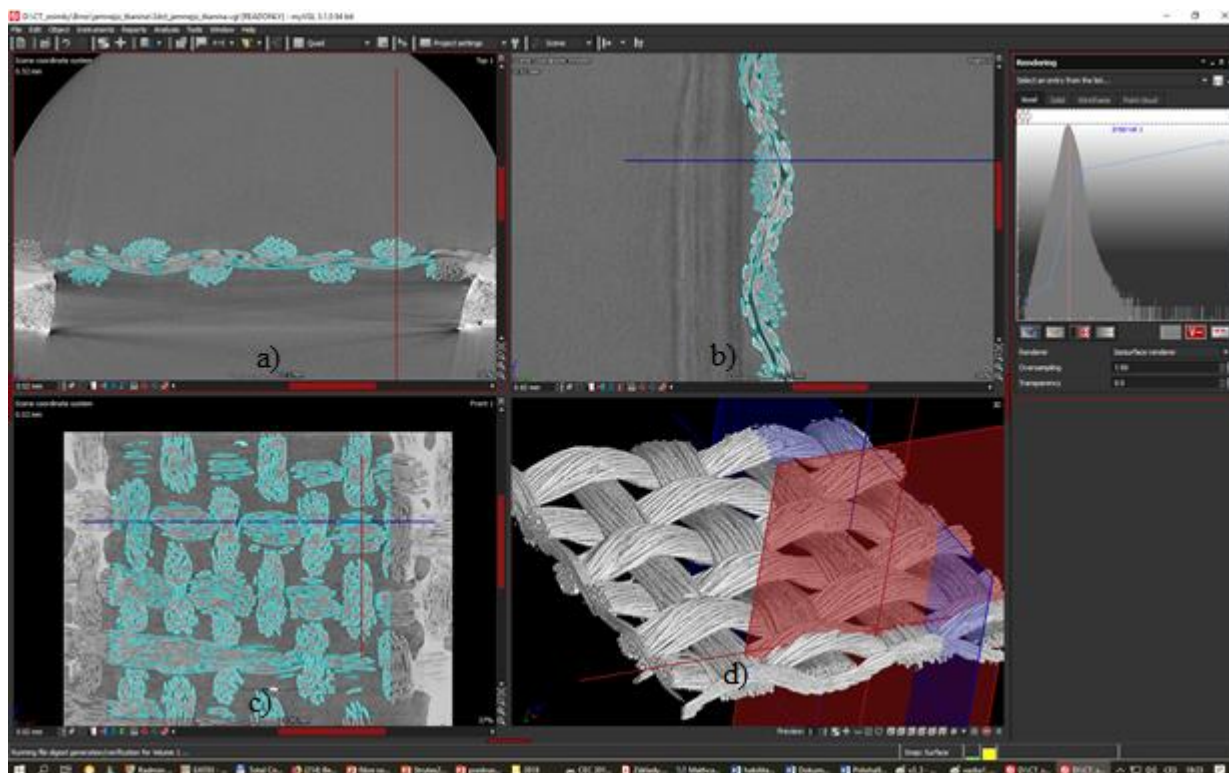
Klasifikací provázání tkaniny na základě míry zvlnění osnovní a útkové soustavy nití se zabýval Novikov [26]. Na základě míry zvlnění nití ve tkanině Novikov definoval devět fází provázání

v prostorové geometrii tkaniny. První fáze vyjadřuje stav, kde osnova je napřímená a útková nit je maximálně zvlněná, lze psát  $e_1=0$ ,  $e_2=1$ . Poslední devátá fáze vyjadřuje opačný stav, kde osnova je maximálně zvlněná a útek je napřímený, platí  $e_1=1$ ,  $e_2=0$ . Zbylé fáze jsou definovány s odstupňovaným poměrem mezi zvlněním osnovy a útku, kde pro fázi 2-8 platí vyjádření:

$$(2)e_1 = 0.125, (3)e_1 = 0.25, (4)e_1 = 0.375, (5)e_1 = 0.5, (6)e_1 = 0.625, (7)e_1 = 0.75, (8)e_1 = 0.875.$$

Ve své teorii Novikov uvádí, že fáze 6,7 definují tkaninu ve formovací zóně mezi rozpínkami, kde je útek poměrně napnutý. Při přechodu na zbožový váh, kde tkanina dosáhne relaxovaného stavu je zvlnění definováno fází 3,4. Extrémní postavení definováno fázemi 1,2 a 8,9 jsou dle teorie Novikova nereálné. Míry zvlnění nití  $e_{1,2}$  jsou měřitelné buď nepřímo z přepočtu experimentálně zjištěné hodnoty setkání nití, nebo přímo z příčných a podélných řezů tkaniny. Zvlnění nití závisí na konstrukčních parametrech tkaniny (parametry plošné geometrie, včetně poměru dostav nití ve tkanině) a nastavení tkacího stroje.

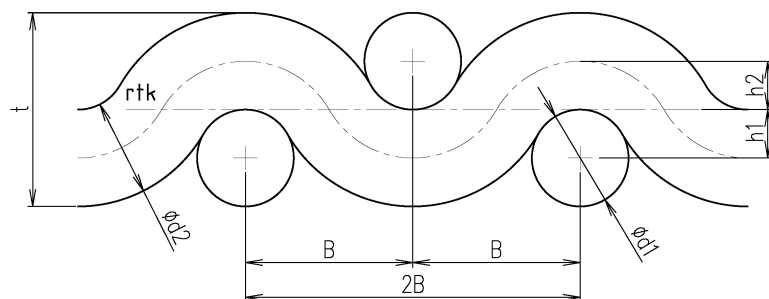
Přímým hodnocením míry zvlnění nití založeném na experimentální metodice obrazové analýzy metody příčných a podélných řezů tkaniny, viz obr. 4.12, se ukázalo, že ve tkanině v ustáleném stavu lze dosáhnout všechny úrovně zvlnění. Rozhodující je definice konstrukce tkaniny a nastavení tkacího stroje. Z hodnocení plyne, že konstrukce tkaniny s poměrem dostav nití  $D_1/D_2 > 1,8$  dosahují zvlnění  $e_1 = (0,75-1)$ , viz obrázek 4.13. Čtvercové konstrukce tkaniny s poměr dostav  $D_1/D_2 = 1$  dosahují vyrovnané zvlnění, kde  $e_1 = e_2 = 0,5$ , viz obr. 4.14. Konstrukce tkaniny s poměrem dostav běžných tkanin, kde  $1,7 > D_1/D_2 > 1$  dosahují míry zvlnění  $e_1 = (0,35-0,45)$ .



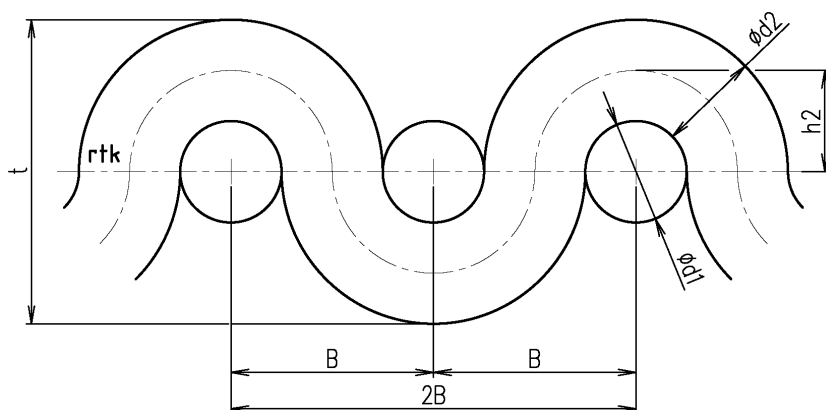
Obrázek 4.12: Zobrazení zvlnění nití ve tkanině na základě výpočetní tomografie (*Computed Tomography-CT*) 3D morfologie tkaniny, a) podélný řez tkaninou, b) příčný řez tkaninou, c) řez tloušťkou tkaniny, d) prostorový pohled tkaniny

Z výše uvedeného plyne, že provazující nitě ve tkanině na základě konstrukce tkaniny a nastavení tkacího stroje mají různé zvlnění, bez ohledu na počet fází provázání nití dle teorie Novikova.

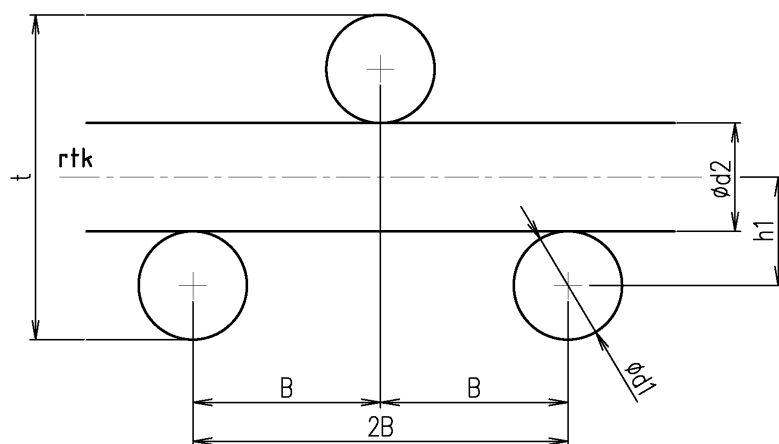
Obecně pro vyjádření středního, maximálního, minimálního zvlnění nití ve tkanině platí: a)  $e_1=0,5$ ,  $e_2=0,5$  - zvlnění osnovních a útkových nití je nití stejné, viz obr. 4.13, 4.16, b)  $e_1=0$ ,  $e_2=1$  - nezvlněná osnovní soustava nití a maximální zvlnění útkové soustavy nití, viz obr. 4.14, 4.17, c)  $e_1=1$ ,  $e_2=0$  - maximální zvlnění osnovních nití a nezvlněná útková soustava nití, viz obr. 4.15, 4.18.



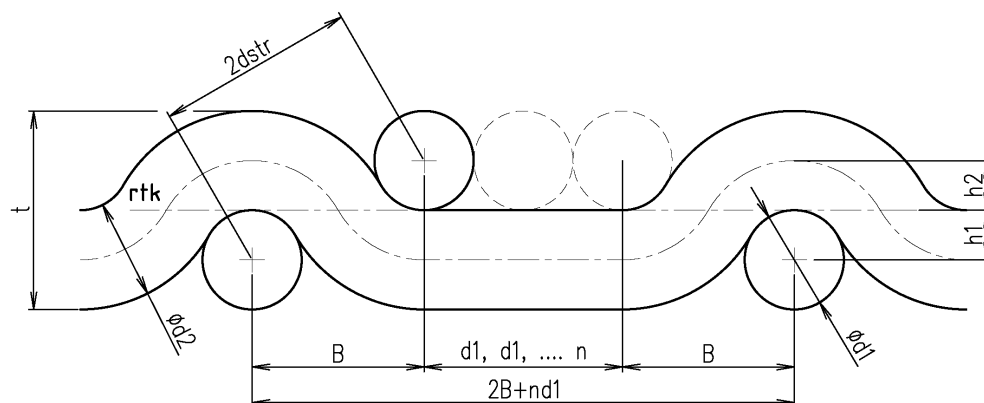
Obrázek 4.13: Prostorová geometrie těsného provázání v plátnové vazbě tkaniny, s poměrným zvlněním  $e_{1,2} = 0,5$  [30]



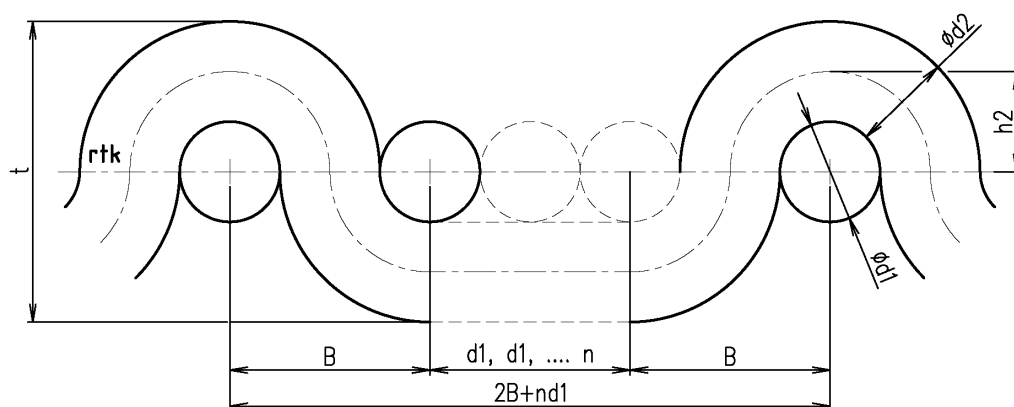
Obrázek 4.14: Prostorová geometrie těsného provázání v plátnové vazbě tkaniny s poměrným zvlněním  $e_1=0$ ,  $e_2=1$



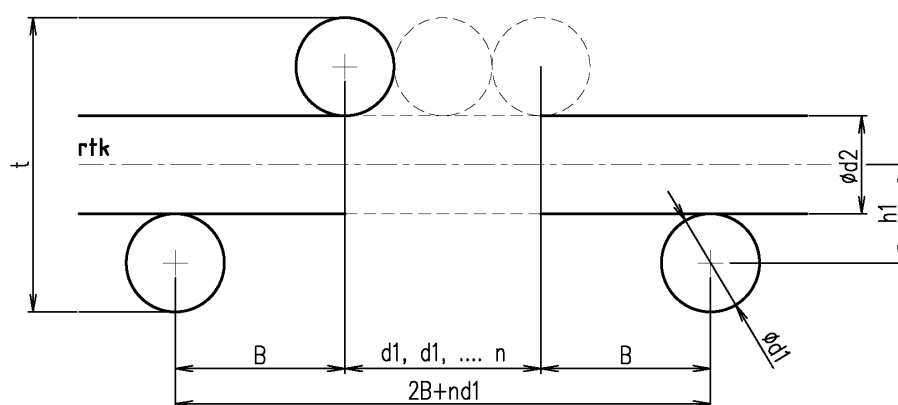
Obrázek 4.15: Prostorová geometrie těsného provázání v plátnové vazbě tkaniny, s poměrným zvlněním  $e_1=1$ ,  $e_2=0$



Obrázek 4.16: Prostorová geometrie těsného provázání v neplátnové vazbě tkaniny s poměrným zvlněním  $e_1=0,5$ ,  $e_2=0,5$  [30]



Obrázek 4.17: Prostorová geometrie těsného provázání v neplátnové vazbě tkaniny s poměrným zvlněním  $e_1=0$ ,  $e_2=1$



Obrázek 4.18: Prostorová geometrie těsného provázání v neplátnové vazbě tkaniny s poměrným zvlněním  $e_1=1$ ,  $e_2=0$

Jak je z obr. 4.13 - 4.18 patrné, prostorová geometrie v daném případě určuje možné postavení nití v příčném/podélném řezu tkaninou, kde platí, že tloušťka tkaniny definovaná z podélných nebo příčných řezu tkaninou musí být totožná. Tloušťky z prostorové geometrie tkaniny je možné predikovat na základě efektivních hodnot průměru osnovních a útkových nití, poměrného zvlnění nití osnovních a útkových nití ve tkanině dle vztahu (4.21).



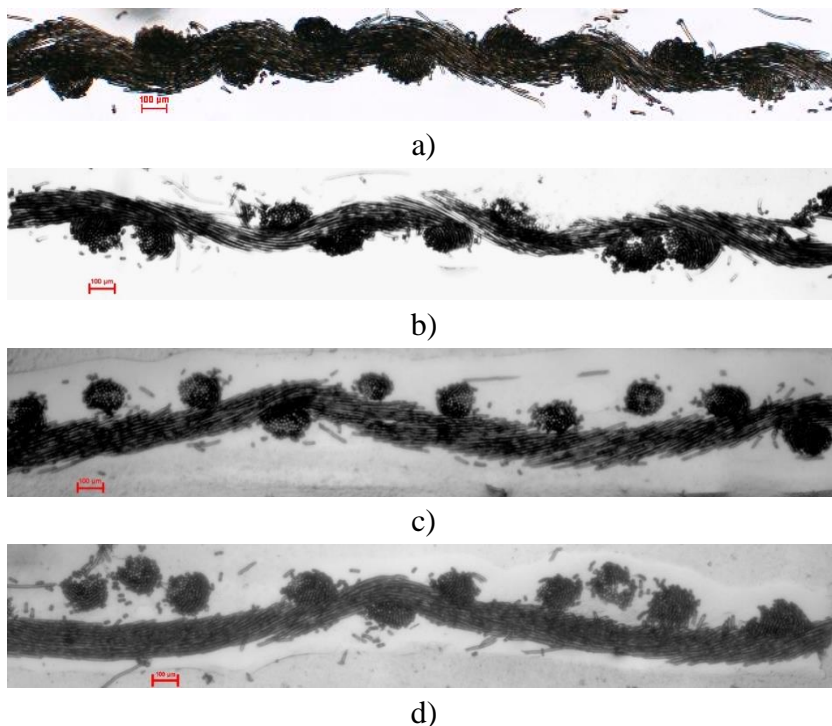
$$t = \left[ (d_1 + d_2) + \left[ \frac{d_1 + d_2}{2} \cdot e_1 - \frac{d_1 + d_2}{2} \cdot (1 - e_1) \right] \right] \quad (4.21)$$

Z geometrie tkaniny dle obr. 4.13 - 4.18 plyne, že tloušťku tkaniny se shodným zvlněním nití lze definovat:  $t = 2 \cdot d_{str} = d_1 + d_2$ . V případě změny zvlnění nití dochází k nárůstu tloušťky tkaniny, přičemž platí, že rozdíl ve zvlnění jedné soustavy vůči druhé soustavě nití ve tkanině lze vyjádřit absolutní hodnotou rozdílu výšek vazných vln  $\left[ \frac{d_1 + d_2}{2} \cdot e_1 - \frac{d_1 + d_2}{2} \cdot (1 - e_1) \right]$ . Následně tloušťka

tkaniny pro maximální zvlnění nití ve tkanině je daná  $t = 3d_{str}$ . Experimentální hodnocení tkanin neplátnových vazeb potvrdilo, že z důvodu kombinace vyššího uvolnění nití v provázání a vyšší dostavy nití u neplátnových vazeb může docházet v místě flotáže k posunu neprovazujících nití a k jejich částečnému přeskupení z předpokládaného rovinného postavení, viz obr. 4.19. Vlivem této změny tloušťka tkaniny neplátnových vazeb se shodným zvlněním osnovních a útkových nití s rostoucí flotáží roste, viz obr. 4.20. Tloušťka tkaniny neplátnových vazeb, u které podsouvání nití v místě flotáže je zohledněno stupněm neprovázanosti je vyjádřena dle vztahu (4.22):

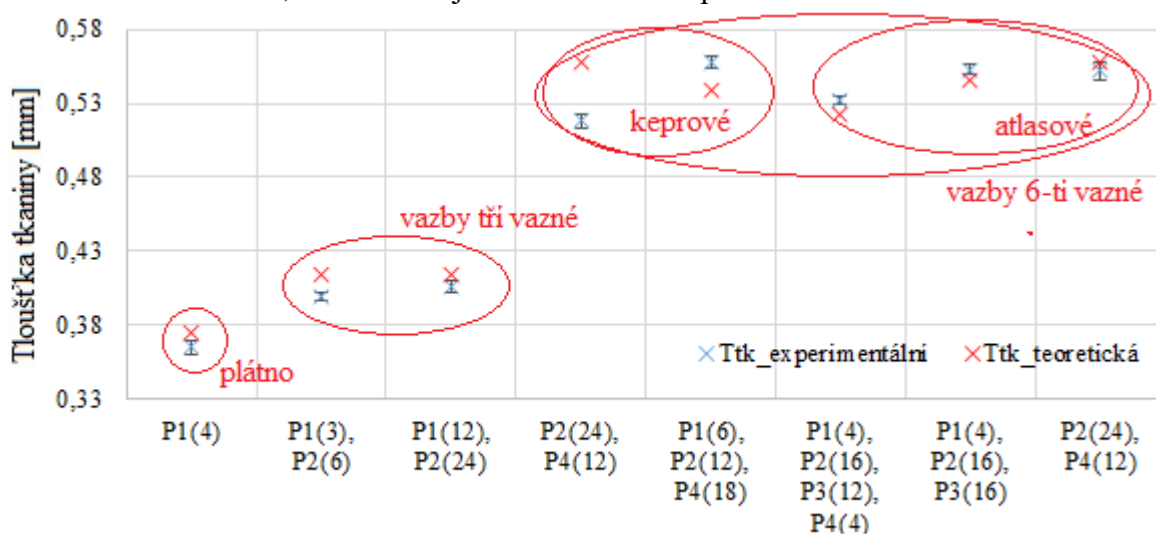
$$t = \left[ (d_1 + d_2) + \left[ \frac{d_1 + d_2}{2} \cdot e_1 - \frac{d_1 + d_2}{2} \cdot (1 - e_1) \right] \right] \cdot Sn, \quad (4.22)$$

kde: „Sn“ vyjadřuje stupněm neprovázanosti nití  $\frac{d_{str} \cdot \sqrt{3} \cdot n_1 \cdot n_2}{\sum_{n_{1,2}} A(P1 - P4)}$ , viz vztah (2.37), (2.38).



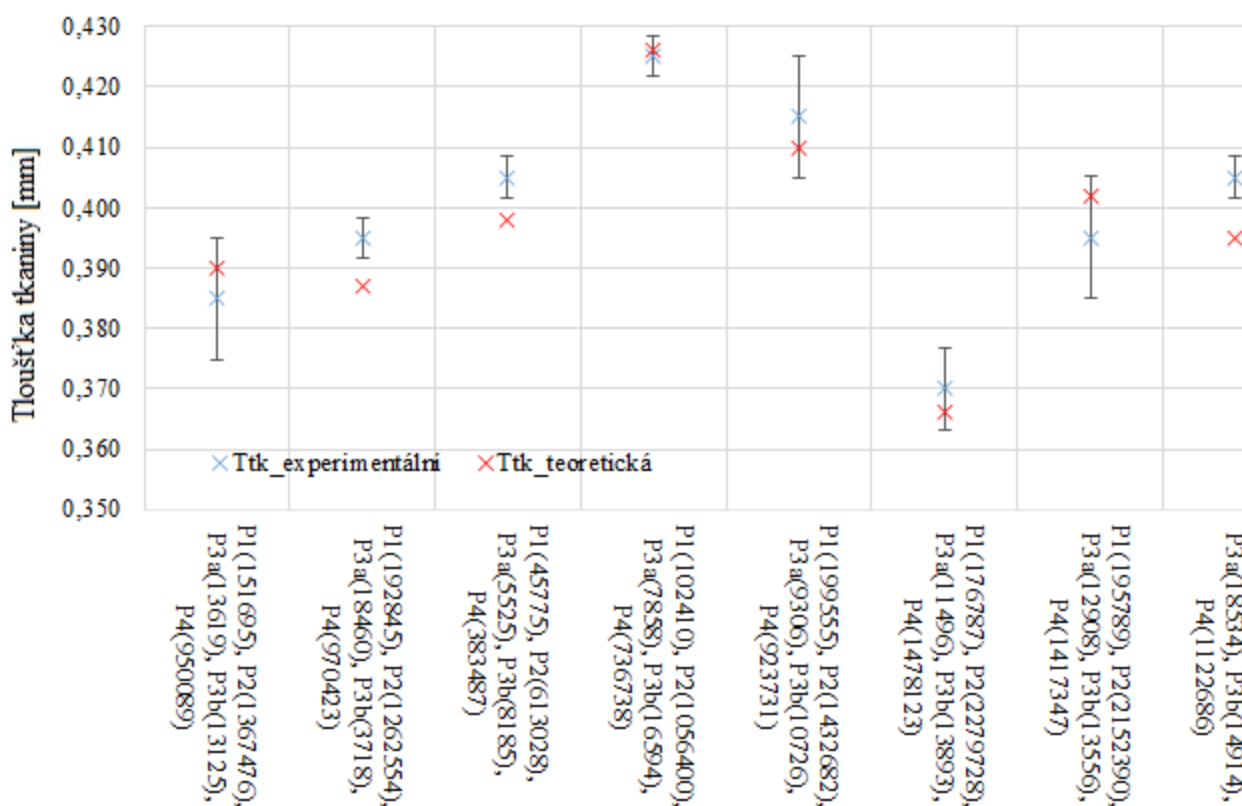
Obrázek 4.19: Zobrazení příčných řezů tkaninou v závislosti na velikosti flotáže u experimentální sady plátnové a neplátnových tkanin, a) plátnová vazba, b) K1/2(Z), c) A1/5(-), d) K1/5(Z) [51]

Z pohledu definice strukturálních buněk provázání lze konstatovat, že s rostoucím podílem buněk P2-P4 tloušťka tkaniny roste, viz obr. 4.20, 4.21. Strukturální buňky P2-P4 určují uvolnění provázání nití ve tkanině, což umožňuje nitím ve tkanině posuv.



Strukturální buňky provázání nití ve tkanině (P1-P4)

Obrázek 4.20: Zobrazení tloušťky tkaniny v závislosti na velikosti flotáže vyjádřené na základě strukturálních buněk u experimentální sady vzorků plátňových a neplátňových listových tkanin

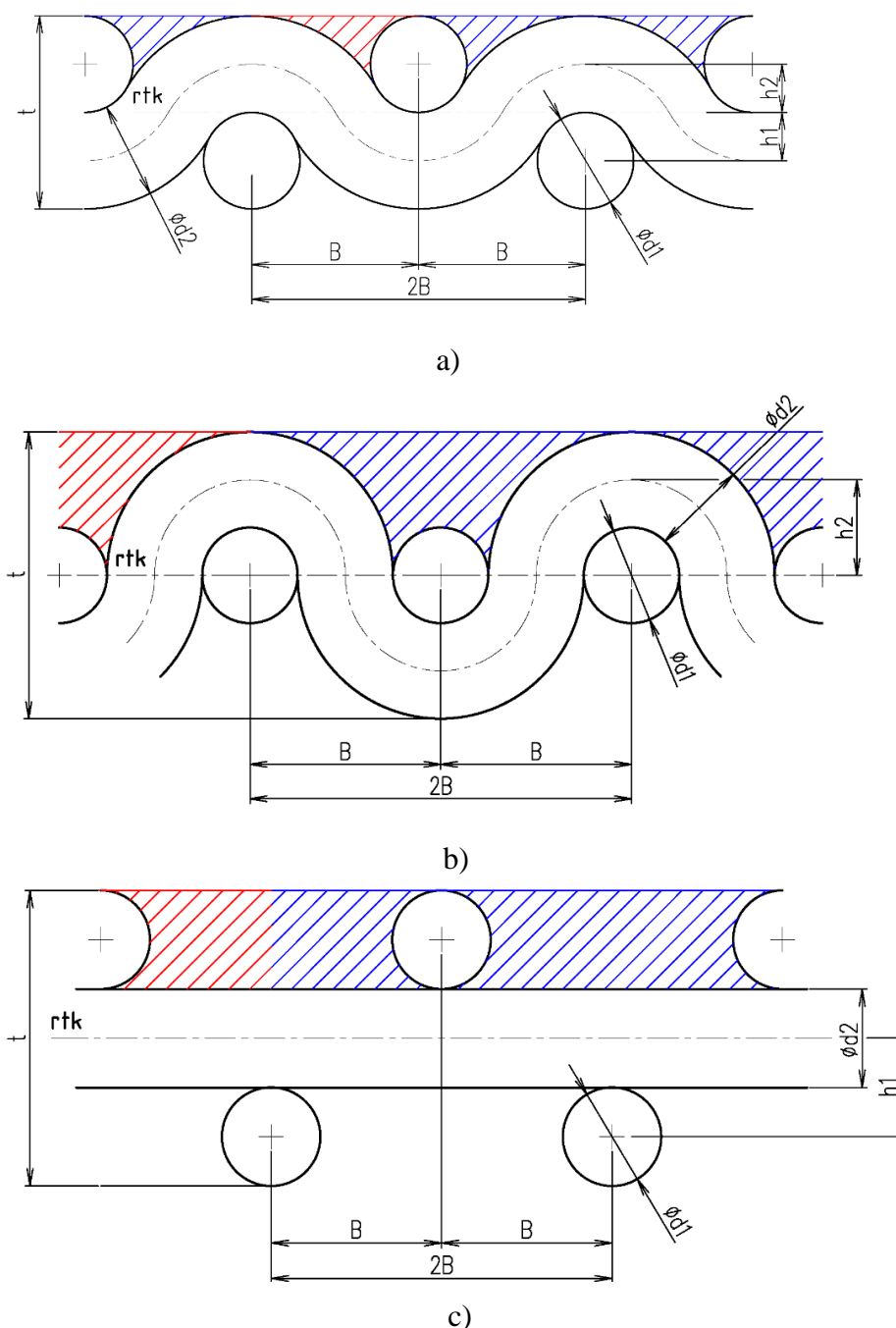


Strukturální buňky provázání nití ve tkanině (P1-P4)

Obrázek 4.21: Zobrazení tloušťky tkaniny v závislosti na velikosti flotáže vyjádřené na základě strukturálních buněk u experimentální sady vzorků žakárských tkanin

### 4.3 Predikce geometrické drsnosti tkaniny listové a žakárské

Drsnost povrchu je definována jako parametr určující prostorové uspořádání povrchu ve vztahu k mikro-geometrii reliéfu povrchu. Mikro-geometrie reliéfu povrchu je dána souhrnem odchylek nerovností povrchu od ideální geometrie (Bumbálek [67]). Ideálním povrchem v daném případě je povrch hladký. Základní informace o nerovnostech a jejich odchylkách je možné vyjádřit z profilu, který vznikne jako průsečnice roviny řezu kolmé k ploše hodnoceného útvaru (teoretická geometrie reliéfu povrchu tkaniny viz obr. 4.22). Dle normy ISO 4287 drsností označujeme souhrn nerovností povrchu (jednotlivých výstupků a prohlubní) s relativně malou vzdáleností [68].



Obrázek 4.22: Zobrazení teoretické geometrie tkaniny vzhledem k povrchu tkaniny  
a) vyrovnané tkaniny, b) nevyrovnané tkaniny podélného řezu, c) nevyrovnané tkaniny příčného řezu

Výzkumem v oblasti definice drsnosti tkaniny se zabývali i jiní autoři (Kawabata [69], Militký [70], Militký, Bajzík, Bleša [671-73], Bueno [74], Pont [75], Chaničková [76], Ezazshahabi [77]). Vlastnosti povrchu tkanin je možné definovat na základě geometrických parametrů. Geometrickou drsnost spolu s dalšími základními charakteristikami textilie je možné použít při definici komfortu textilie. Objektivní experimentální metodiky použitelné pro stanovení povrchových charakteristik vycházejí z kontaktních a bezkontaktních metod měření. Základní objektivní metodou pro stanovení omaku textilie (převážně tkaniny) a predikce reliéfu povrchu tkaniny na základě geometrické drsnosti je Kawabata Evaluation System (KES). Princip měření povrchové charakteristiky je založený na získání profilu povrchu s použitím dotykového čidla – snímače jako hlavní části měřicího zařízení. Snímač je tvořen hladkým ocelovým klavírním drátem o tloušťce 0,5 mm s přitlakem při měření  $P=10gf$ . Snímač se pohybuje konstantní rychlostí  $mm.s^{-1}$  v měřeném úseku tkaniny o délce 20 mm a šířce 5mm. Snímač kopíruje povrch textilie ve směru podélné osy a ve stanovených vzdálenostech  $x$  zaznamenává tloušťku  $T(x)$ . Ze zaznamenaných hodnot tloušťky  $T(x)$  je následně vyjádřena střední hodnota tloušťky  $\bar{T}$ . Střední odchylka drsnosti povrchu SMD (Surface Roughness mean deviation) je prezentována jako střední odchylka tloušťky v mikrometrech na hodnoceném úseku  $X=20mm$  dle vztahu (4.23) (Kawabata [69]):

$$SMD = \frac{1}{X} \int_0^X |T(x) - \bar{T}| dx. \quad (4.23)$$

SMD je definovaná zvlášť pro podélný směr tkaniny (profil osnovní soustavy) a příčný směr tkaniny (profil útkové soustavy). Na základě středních odchylek povrchu drsnosti v jednotlivých směrech je následně vyjádřena střední odchylka povrchové drsnosti tkaniny dle vztahu (4.24):

$$SMD_{\text{tkaniny}} = \frac{SMD_{\text{osnova}} + SMD_{\text{útek}}}{2}. \quad (4.24)$$

Profil povrchu, (viz obr. 4.23), je graficky zaznamenán pomocí softwaru v měřicím zařízení. Nerovnost skutečného profilu je definovaná jednotlivými výstupky a prohlubněmi. Výstupky profilu jsou dány částmi skutečného profilu vystupujícího nad střední čáru profilu, a naopak prohlubně jsou dány částmi skutečného profilu nacházejícího se pod střední čarou profilu.



Obrázek 4.23: Zobrazení profilu povrchu tkaniny vyrobené z polyesterového multifílu se střídou vazby 10-ti vazného atlasu

Z obecného hlediska, drsnost povrchu textilie vykazuje dva základní geometrické aspekty: náhodný (ke změně dochází náhodně, nelze využít prostorovou funkci pro vyjádření drsnosti) a strukturální (odchylka změny drsnosti povrchu nevychází pouze z prostorové polohy, ale je závislá na rozestupu; z pohledu tkanin je povrch charakterizovaný na základě střídání vzoru a její možné periodicity) Militký [70].

Definice drsnosti povrchu a predikce geometrické drsnosti tkaniny vychází z rozboru strukturální složky drsnosti povrchu tkanin a využívá konstrukčních parametrů tkaniny jak z pohledu plošné, tak i prostorové geometrie tkaniny (Kolčavová Sirková [48]). Drsnost povrchu tkaniny lze tedy stanovit jak experimentálně pomocí měřicího zařízení KES, tak teoreticky na základě geometrických parametrů tkaniny. Navržená predikce geometrické drsnosti tkaniny ve směru osnovy a útku a její výsledné teoretické hodnoty jsou porovnávány s hodnotami geometrické drsnosti vyjádřené systémem KES. Z obecného pohledu, základní parametry plošné a prostorové geometrie ovlivňující drsnost povrchu tkaniny jsou definovány:

- 1) ve vztahu k provázání nití ve tkanině – vyjádřením strukturálních buněk provázání P1-P4 ve střídě vazby/vzoru. Lze předpokládat, že drsnost povrchu tkaniny tvořené strukturální buňkou P1, definovanou pro plné křížení nití, bude maximální v porovnání s drsností povrchu tkaniny definované strukturální buňkou P4, představující plně flotující úsek, kde ve směru flotu bude drsnost povrchu z pohledu provázání nulová.
- 2) ve vztahu k rozestupu nití ve tkanině vyjádřenému na základě dostavy osnovních a útkových nití – lze předpokládat (pro zakřížený úsek nití při konstantním zvlnění nití ve vyrovnané tkanině), že drsnost povrchu tkaniny se zvyšujícím se rozestupem poroste (úhel provázání s rostoucím rozestupem klesá, ale naopak délka vazné vlny s rostoucím rozestupem roste, tím vzniká větší porosita a menší plošné zakrytí tkaniny). Pro flotážní úsek nití (ve směru flotu) je možné předpokládat, že drsnost povrchu tkaniny s rostoucím rozestupem bude konstantní. *Poznámka: změna rozestupu nití ve tkanině ovlivní prostorovou geometrii z hlediska zvlnění nití ve vazné vlně tkaniny. Prakticky, s rostoucím rozestupem nití ve tkanině dochází ke změně zvlnění nití ve tkanině. Bude se měnit na základě poměru dostav nití v konstrukci tkaniny.*
- 3) ve vztahu k zvlnění nití ve vazné vlně tkaniny. Lze předpokládat, že drsnost povrchu tkaniny se zvětšujícím/zmenšujícím se zvlněním poroste. Se změnou zvlnění dochází k vychýlení vazných bodů, které vede k nárůstu drsnosti povrchu tkaniny. Drsnost povrchu tkaniny bude minimální v případě vyrovnané tkaniny, pro kterou platí, že zvlnění osnovních a zvlnění útkových nití je stejné.
- 4) ve vztahu k nestejnomyšlnosti a chlupatosti vstupního délkového materiálu – v níže prezentované predikci drsnosti tkaniny není tento vliv zahrnut, a to z důvodu toho, že se jedná o vliv minimální vzhledem ke vlivu ze strany geometrie tkaniny, samotného provázání nití a metodice měření.

Predikci geometrické drsnosti tkaniny lze definovat jako střední odchylku tloušťky tkaniny v mikrometrech na hodnoceném úseku střídání vazby/vzoru. Teoretický profil povrchu tkaniny je definován na základě definice výšky výstupků a výšky prohlubní povrchu strukturálních buněk provázání nití ve tkanině, viz obr. 4.24 zobrazení bočního pohledu na strukturální buňku tvořenou zakřížením nití a flotáží.





Obrázek 4.24: Zobrazení definice výstupků a prohlubně z pohledu tloušťky tkaniny geometrie tkaniny vyrovnané

Predikovaná výška výstupku povrchu strukturální buňky provázání nití ve tkanině je rovna maximální výšce povrchu tkaniny z hlediska tloušťky tkaniny vyjádřené vztahem (4.25):

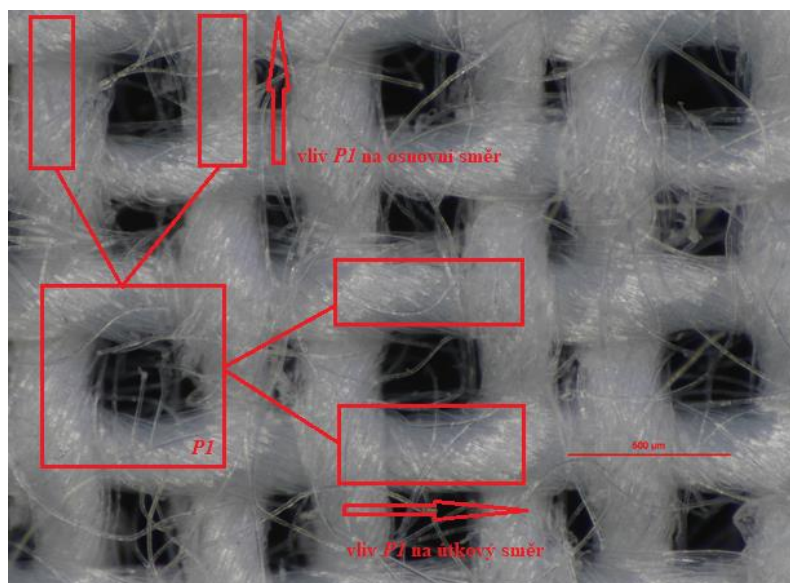
$$\text{Výška Výstupku Profilu (VVP)} = \left[ (d_1 + d_2) + \left[ d_{str} \cdot e_1 - d_{str} \cdot (1 - e_1) \right] \right]. \quad (4.25)$$

Predikce výšky prohlubně povrchu strukturální buňky provázání nití ve tkanině je definovaná jako nejnižší možný pokles tloušťky tkaniny z hlediska profilu povrchu. Predikce prohlubně povrchu strukturální buňky provázání je vyjádřena vztahem (4.26):



$$\text{Výška Prohlubně Profilu (VPP)} = \frac{(d_1 + d_2) + \left[ d_{str} \cdot e_1 - d_{str} \cdot (1 - e_1) \right]}{2} + \frac{d_{str}}{2}. \quad (4.26)$$

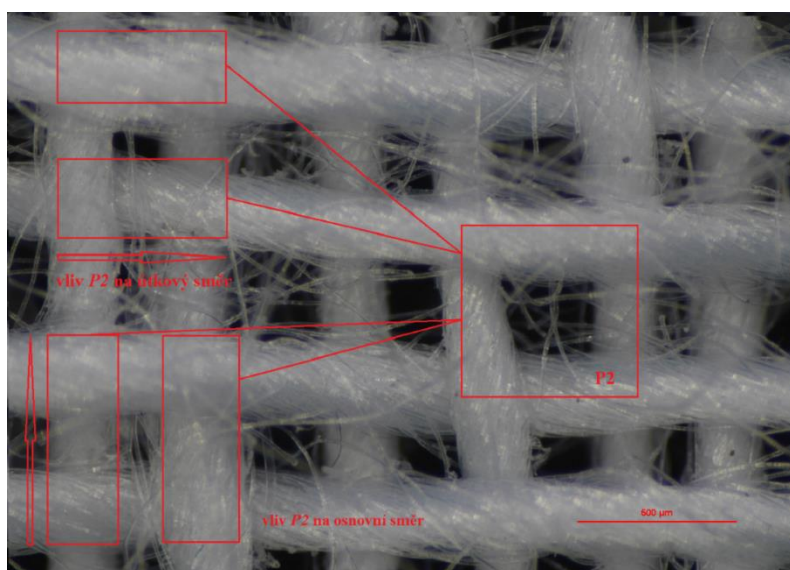
Střední odchylka drsnosti povrchu tkaniny je následně určena na základě profilu povrchu tkaniny, viz obr. 4.24. Teoretický profil a struktura povrchu je určena rozložením strukturálních buněk provázání P1-P4 ve střídě vazby/vzoru a jejich geometrií. Rozložení a počet strukturálních buněk obsažených v ploše střídě vazby/vzoru je možné stanovit na základě relativní četnosti jednotlivých strukturálních buněk provázání nití ve tkanině vycházející z velikosti střídě/vzoru. Z hlediska geometrie a posuzování drsnosti povrchu tkaniny ve vztahu k provázání a samotným strukturálním buňkám provázání je nutné stanovit míru jejich vlivu na finální nerovnost profilu povrchu. Teoreticky lze předpokládat, že:

- 1) v případě strukturní buňky provázání P1 (viz obr. 4.25), tím že je buňka tvořena plným zakřížením nití, bude vytvářet maximální nerovnost profilu povrchu tkaniny. Z provázání strukturální buňky P1, viz obr. 4.25, lze stanovit, že strukturální buňka P1 v každém směru vytváří nerovnost povrchu dvěma nitěmi, u kterých dochází k zakřížení (červeně zaznačené obdélníkové části v definovaném směru).



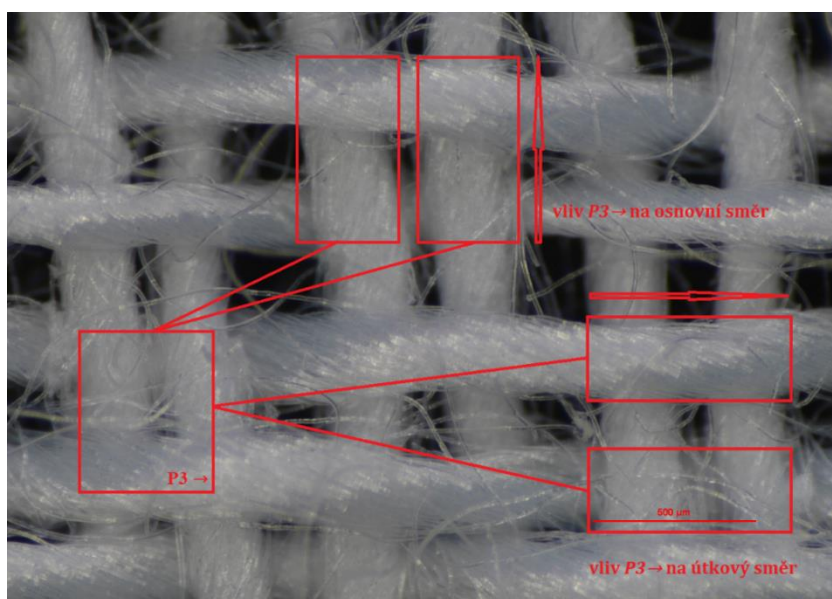
Obrázek 4.25: Znázornění strukturální buňky *P1* a jejího podílu na predikci geometrické drsnosti tkaniny vyjádřené vztahem (4.29), (4.30)

- 2) v případě strukturální buňky *P2* (viz obr. 4.26), tím že u ní nedochází k plnému, ale pouze k částečnému křížení nití, bude její vliv na nerovnost povrchu poloviční v porovnání s buňkou *P1* vzhledem k zakřížení nití. Jak je patrné z obr. 4.26, v případě útkového efektu strukturální buňky *P2* , pro útkový směr, jedna z dvojice nití provazuje zakřížením a druhá flotáží. Nerovnost povrchu v útkovém směru bude vytvořena pouze ze zakříženého místa jedné nitě, druhá nit vytváří teoreticky hladký úsek daný flotem. Pro osnovní směr je však situace jiná, jedna nit je tvořena zakříženým úsekem a druhá sice flotuje, ale tím, že se jedná o útkovou strukturální buňku je mezi nitěmi mezera daná rozestupem. Je možné předpokládat, že nerovnost bude tvořena i tímto úsekem. Pro teoretickou predikci drsnosti povrchu budeme předpokládat, že nerovnost je stejná jako v úseku tvořící zakřížení nití. V případě osnovního efektu strukturální buňky *P2*  nastane opačná situace vzhledem k postavení osnovních nití v provázání.



Obrázek 4.26: Znázornění strukturální buňky *P2* útkového efektu a jejího podílu na predikci geometrické drsnosti tkaniny vyjádřené vztahem (4.29), (4.30)

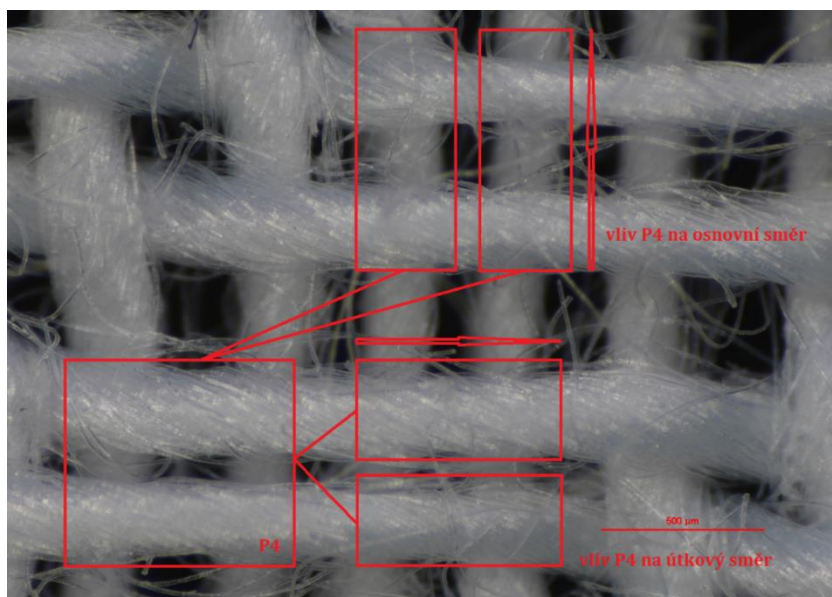
- 3) v případě strukturní buňky provázání  $P3\uparrow$  a  $P3\rightarrow$  je buňka nesymetrická vzhledem k provázání nití v podélném směru a příčném směru buňky. Provázání buňky je charakteristické tím, že v jednom směru (např. osnovním) je provázání nití s plným křížením, a ve směru opačné (útkovém) je provázání definované plným flotem, viz obr. 4.27. Vliv strukturální buňky  $P3\uparrow$  a  $P3\rightarrow$  na nerovnost povrchu bude souviset se směrem, tj. v případě že, strukturální buňka  $P3\uparrow$  bude plným křížením provázovat ve směru příčném (útkovém), lze předpokládat, že v tomto směru vznikne větší nerovnost povrchu, než ve směru podélném (osnovním), kde je flotáž, která vytvoří teoreticky hladký povrch z hlediska provázání. Strukturální buňka  $P3\rightarrow$  bude ovlivňovat nerovnost povrchu opačně vzhledem k jednotlivým směrům než  $P3\uparrow$ .



Obrázek 4.27: Znázornění strukturální buňky  $P3(\rightarrow)$  a jejího podílu na predikci geometrické drsnosti tkaniny vyjádřené vztahem (4.29), (4.30)

- 4) v případě strukturní buňky provázání  $P4$  v osnovním  $\blacksquare$  a v útkovém  $\oplus$  efektu, viz obr. 4.28. V případě této buňky  $P4$  nedochází k provázání ve dvojici sousedních nití, flotující nitě leží na povrchu tkaniny, lze teoreticky předpokládat, že jejich vliv na nerovnost povrchu bude z pohledu flotujícího úseku v daném měřeném směru nulový. Útkový efekt strukturální buňky  $P4$  nebude ovlivňovat drsnost při měření v útkovém směru. Její podíl na nerovnosti povrchu bude pouze při měření v osnovním směru, kde vytvoří jednu změnu v rámci rozestupu nití, viz obr. 4.28. V případě osnovního efektu strukturální buňky  $P4$  nastane opačná situace při měření v jednotlivých směrech.





Obrázek 4.28: Znázornění strukturální buňky *P4* a jejího podílu na predikci geometrické drsnosti tkaniny vyjádřené vztahem (4.29), (4.30)

Jak bylo uvedeno výše, teoretické odchylky tloušťky tkaniny, tj. nerovnost profilu je tvořena výstupky profilu a prohlubněmi profilu. Výstupek profilu je část skutečného profilu, spojující dva nejbližší průsečíky se střední čarou profilu směřující z tkaniny. Naopak prohlubně profilu jsou části skutečného profilu spojující dva nejbližší průsečíky se střední čarou profilu směřující do tkaniny, viz obr. 4.24. Plochu výstupku a prohlubně profilu povrchu (teoretické odchylky tloušťky tkaniny) strukturální buňky provázání nití ve tkanině je možné stanovit:

- a) z teoretického matematického tvaru vazné vlny a příčného průřezu nitě v řezu tkaniny. V případě matematických tvarů je možné vycházet z modelů popisujících vaznou vlnu: lineární, parabolický, hyperbolický, atd., a modelů popisujících příčný průřez nití: kruhový, elipsový, Kempův, apod. Při matematickém vyjádření daných modelů, které je možné vztáhnout na popis geometrie všech čtyř strukturálních buněk, se však ukazuje, že teoretický model neodpovídá skutečnému tvaru provázání nití ve tkanině. Vyjádřené hodnoty střední odchylky drsnosti povrchu z teoretických matematických tvarů jsou daleko vyšší, než naměřené hodnoty systémem KES. Rozdíl je dán jednak deformací skutečného tvaru nití v porovnání s teoretickým tvarem vycházejícím z popisu geometrie a také citlivostí systému KES, která vychází z parametrů měření a parametrů samotného snímače. Snímač je tvořen hladkým ocelovým drátem o tloušťce 0,5 mm. Při menším průměru drátu bude citlivost vyšší a s ní i měřená hodnota geometrické drsnosti.
- b) z odhadu možných nerovností profilu povrchu tkaniny vycházejících z plošných (kvadratických) odchylek strukturální buňky provázání. Plošné odchylky určují míru nerovnosti povrchu dané výstupkem profilu a prohlubní profilu strukturální buňky na základní délce profilu stanovené rozestupem os/út nití. Vyjádřené hodnoty střední odchylky drsnosti povrchu při porovnání s hodnotami naměřenými systémem KES jsou srovnatelné, viz obr. 4.29-4.32.

Plocha teoretického profilu povrchu strukturální buňky provázání nití ve tkanině pro predikci geometrické drsnosti tkaniny je definována pomocí teoretické modelové plochy výstupku a prohlubně povrchu strukturální buňky. Modelová plocha strukturální buňky provázání

je vyjádřena na základě plošných (kvadratických) odchylek výstupku a prohlubně dle vztahu (4.27). Vyjádření geometrické drsnosti strukturální buňky provázání vycházející z modelové plochy profilu vztaženého na základní délku profilu danou rozestupem je dáno vztahem (4.28).

$$\text{Plocha Teoretického Profilu Provázání (PTPP)} = \left[ VP - \frac{PP+VP}{2} \right]^2 + \left[ PP - \frac{PP+VP}{2} \right]^2, \quad (4.27)$$

$$\text{Geometrická Drsnost Strukturální Buňky} = \frac{\left[ VP - \frac{PP+VP}{2} \right]^2 + \left[ PP - \frac{PP+VP}{2} \right]^2}{A(B)}. \quad (4.28)$$

Predikce geometrické drsnosti listových i žakárských tkanin pro osnovní směr ( $\uparrow$ ) vychází ze vztahu (4.29) a pro útkový směr ( $\rightarrow$ ) ze vztahu (4.30). Ze směrového vyjádření drsnosti je možné následně dle vztahu (4.31) vyjádřit průměrnou hodnotu geometrické drsnosti tkaniny, obdobným způsobem jako u systému KES.

$$\begin{aligned} \text{Geometrická drsnost tkaniny}(\uparrow) &= \\ &= \left( \frac{\sum P1}{n_1 \cdot n_2} \cdot 2 + \frac{\sum P2(ut)}{n_1 \cdot n_2} \cdot 2 + \frac{\sum P2(os)}{n_1 \cdot n_2} \cdot 1 + \frac{\sum P3 \rightarrow}{n_1 \cdot n_2} \cdot 1 + \frac{\sum P3 \uparrow}{n_1 \cdot n_2} \cdot 0 + \frac{\sum P4(ut)}{n_1 \cdot n_2} \cdot 1 + \frac{\sum P4(os)}{n_1 \cdot n_2} \cdot 0 \right) \cdot \\ &\quad \cdot \frac{\left[ VP - \frac{PP+VP}{2} \right]^2 + \left[ PP - \frac{PP+VP}{2} \right]^2}{A}. \end{aligned} \quad (4.29)$$

$$\begin{aligned} \text{Geometrická drsnost tkaniny}(\rightarrow) &= \\ &= \left( \frac{\sum P1}{n_1 \cdot n_2} \cdot 2 + \frac{\sum P2(ut)}{n_1 \cdot n_2} \cdot 1 + \frac{\sum P2(os)}{n_1 \cdot n_2} \cdot 2 + \frac{\sum P3 \rightarrow}{n_1 \cdot n_2} \cdot 0 + \frac{\sum P3 \uparrow}{n_1 \cdot n_2} \cdot 1 + \frac{\sum P4(ut)}{n_1 \cdot n_2} \cdot 0 + \frac{\sum P4(os)}{n_1 \cdot n_2} \cdot 1 \right) \cdot \\ &\quad \cdot \frac{\left[ VP - \frac{PP+VP}{2} \right]^2 + \left[ PP - \frac{PP+VP}{2} \right]^2}{B}. \end{aligned} \quad (4.30)$$

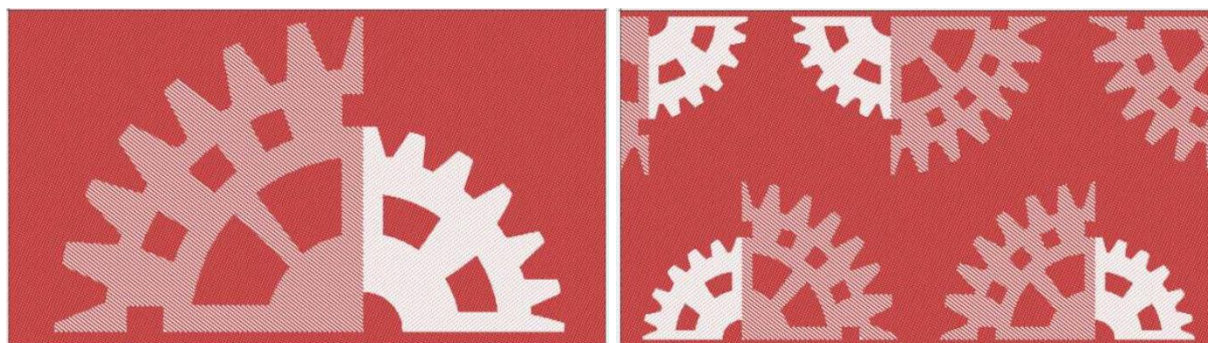
$$\text{Geometrická drsnost tkaniny} = \frac{\text{Geometrická drsnost tkaniny}(\rightarrow) + \text{Geometrická drsnost tkaniny}(\uparrow)}{2}. \quad (4.31)$$

Žakárské tkaniny prezentované na obr. 4.29 byly vyrobeny s cílem sledovat vliv strukturálních buněk provázání nití ve vzoru žakárské tkaniny (Chaničkovská [69]). Konstrukční parametry plošné geometrie jsou u všech čtyř konstrukcí žakárských tkanin shodné. Proměnná je kompozice vstupního elementu vzoru v ploše střídavy vazebné vzornice žakárské tkaniny, viz obr. 4.29 1)-4).

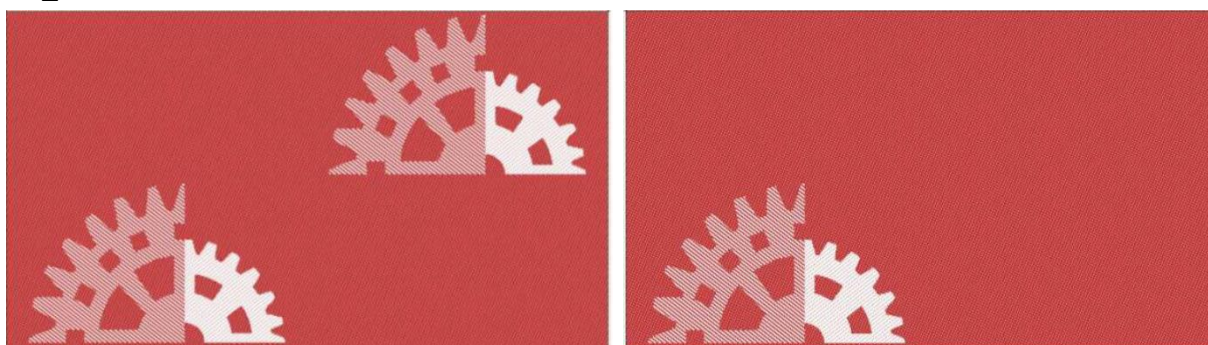
Konstrukční parametry tkaniny:

$$\begin{aligned} os / út &= PES, D_1 = 117 \text{ cm}^{-1}, D_2 = 50 \text{ cm}^{-1}, T_1 = 5 \text{ tex}, T_2 = 10 \text{ tex}, e_1 = e_2 = 0.5, \\ \text{střída vzoru} &= 1200 \times 288, \text{ vazby : půdová } A(11/1), \text{ vzor : } A(5/5), A(1/9). \end{aligned}$$



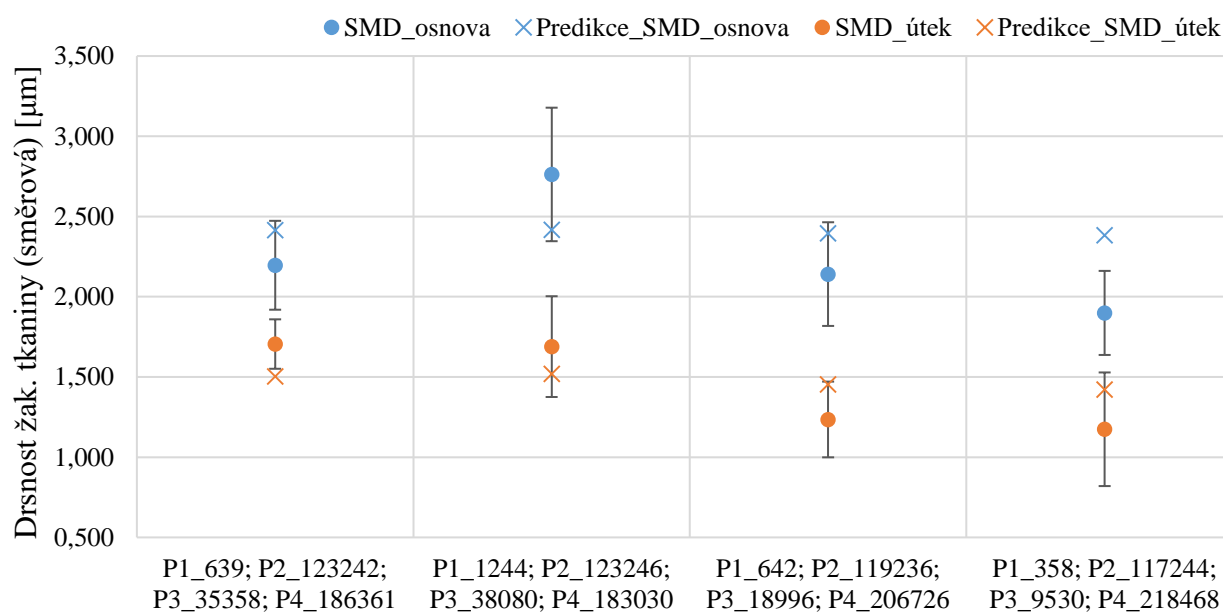


1) P1\_639; P2\_123242; P3\_35358; P4\_186361 2) P1\_1244; P2\_123246; P3\_38080; P4\_183030



3) P1\_642; P2\_119236; P3\_18996; P4\_206726 4) P1\_358; P2\_117244; P3\_9530; P4\_218468

Obrázek 4.29: Zobrazení kompozice vstupního elementu experimentální sady žakárských tkanin [67]



Strukturální buňky provázání nití v žakárských tkaninách

Obrázek 4.30: Zobrazení predikované a experimentální (směrové) geometrické drsnosti žakárské tkaniny v závislosti na geometrii a četnosti strukturálních buněk provázání.

Na obr. 4.30-4.33 je uvedeno porovnání experimentálně naměřených hodnot geometrické drsnosti v osnovním a útkovém směru s predikovanou hodnotou geometrické drsnosti tkanin listových a žakárských vypočítaných dle vztahů uvedených níže. I přesto, že ze statistického hlediska

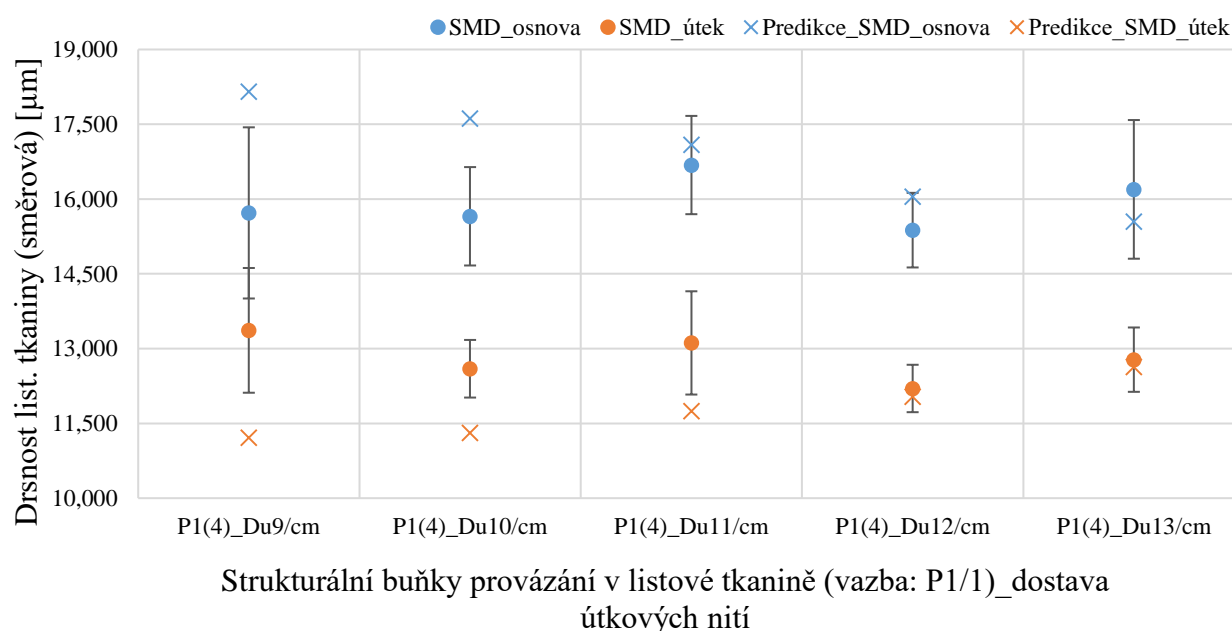
je v některých případech rozdíl středních hodnot drsnosti tkanin nevýznamný, je nutné povšimnout vzniklého trendu a sledovat chování středních hodnot ve vztahu k strukturálním buňkám provázání nití ve tkanině, které určují nerovnost povrchu tkaniny.

Na obr. 4.30, u tkaniny č. 2, z důvodu nejsložitější kompozice tkaniny a maximálního počtu opakování vstupního elementu žakárské předlohy v ploše střídý vzoru, dochází k nárůstu podílu strukturální buňky  $PI=1244$ . Geometrická drsnost tkaniny je v porovnání s dalšími třemi tkaninami nejvyšší. Naopak u tkaniny č. 4 je situace opačná, geometrická drsnost tkaniny je nejmenší, počet strukturální buňky provázání  $PI=358$ .

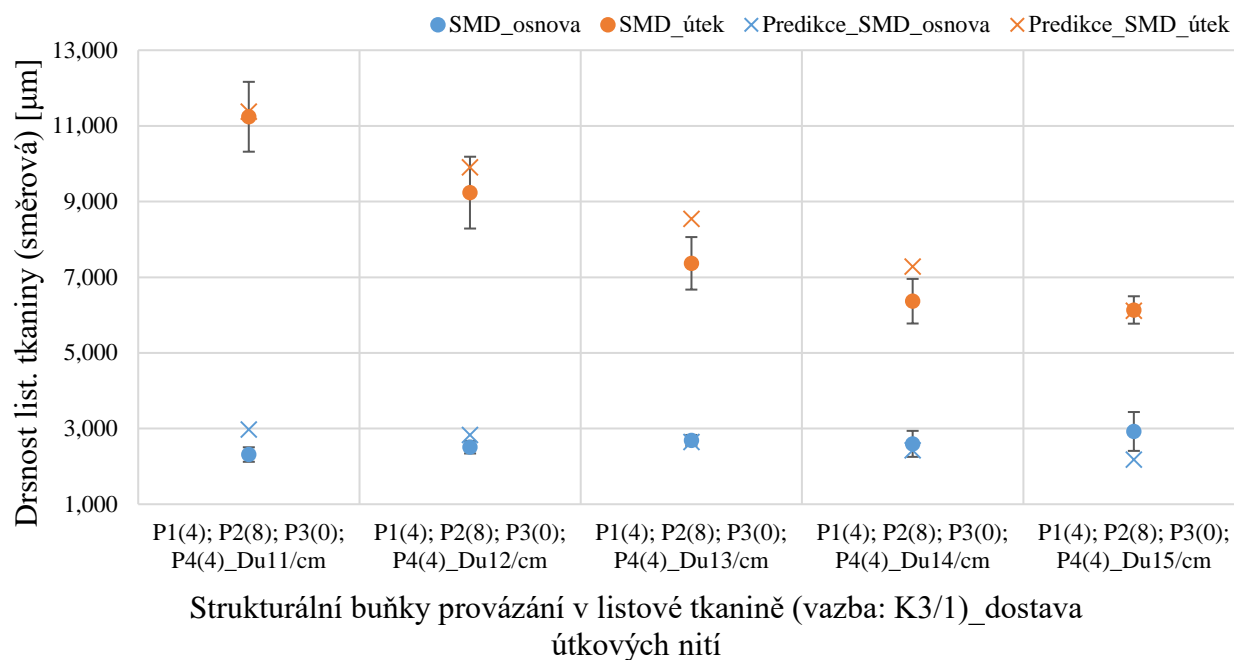
Listové tkaniny prezentované na obr. 4.31-33 byly vyrobeny s cílem sledovat vliv dostavy (konkrétně dostavy útku) a vazby na chování tkanin z pohledu drsnosti. Konstrukční parametry plošné geometrie jsou u všech čtyř konstrukcí různé z pohledu dostavy osnovy/útku a vazby. Vstupní materiál je shodný ve všech třech konstrukcích. Konstrukční parametry tkanin:

- 1)  $os / ut = VS, D_1 = 16cm^{-1}, D_2 = 9-13cm^{-1}, T_{1,2} = 45tex, e_1 = 0.67-0.63, vazba = P(1/1),$
- 2)  $os / ut = VS, D_1 = 24cm^{-1}, D_2 = 11-15cm^{-1}, T_{1,2} = 45tex, e_1 = 0.4-0.5, vazba = K(3/1),$
- 3)  $os / ut = VS, D_1 = 32cm^{-1}, D_2 = 16-22cm^{-1}, T_{1,2} = 45tex, e_1 = 0.4-0.5, vazba = A(1/5).$

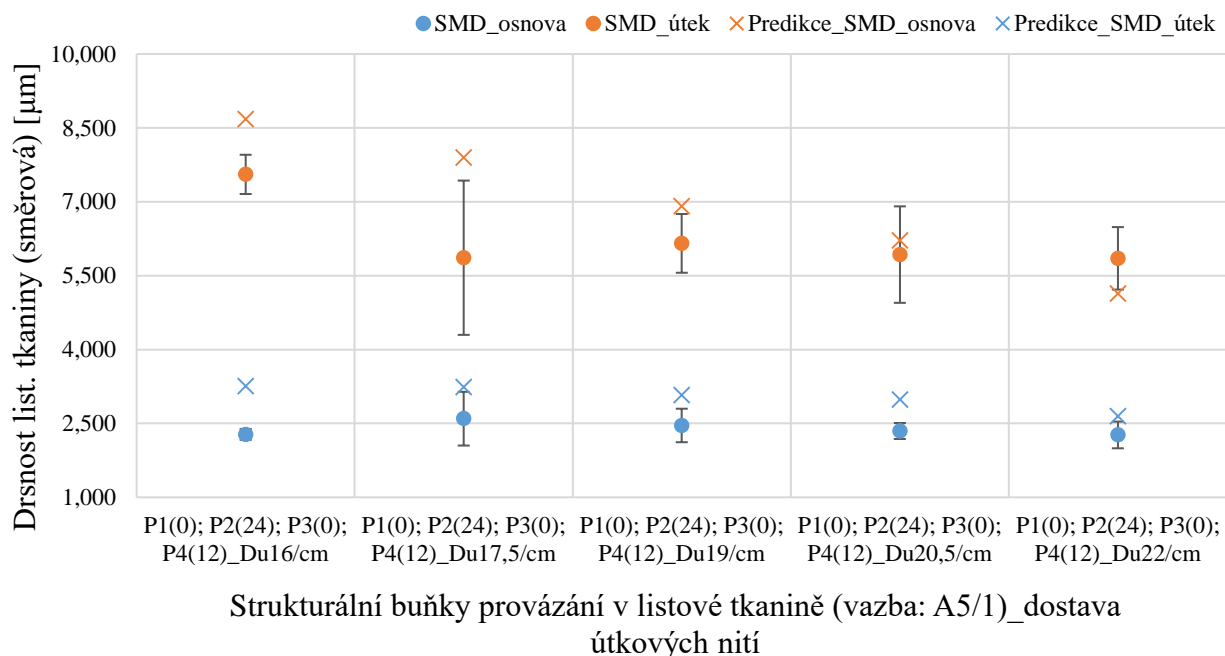
Jak bylo uvedeno výše, strukturální buňka provázání  $PI$  vytváří křížicím úsekem provázání nití největší nerovnost povrchu tkaniny, na rozdíl od flotážní atlasové vazby, která je charakteristická rovnoměrným rozložením vazných buněk, bez buňky  $PI$ . Z níže uvedených grafů je patrné, že ze statistického hlediska je rozdíl středních hodnot drsnosti tkanin ne vždy významný, je nutné ale sledovat trend chování středních hodnot ve vztahu ke geometrii tkaniny a strukturálním buňkám provázání nití plátna, kepru a atlasu. S rostoucí dostavou útku dochází k vyrovnávání tkaniny z pohledu zvlnění nití. Tkanina nevyrovnaná obr. 4.22 b), c) na rozdíl od tkaniny vyrovnané obr. 4.22 a) vede na větší nerovnost povrchu tkaniny.



Obrázek 4.31: Zobrazení predikované a experimentální geometrické drsnosti listové (plátnové) tkaniny (směrové) v závislosti na geometrii a četnosti strukturálních buněk provázání.



Obrázek 4.32: Zobrazení predikované a experimentální (směrové) geometrické drsnosti listové (keprové K3/1) tkaniny v závislosti na geometrii a četnosti strukturálních buněk provázání.



Obrázek 4.33: Zobrazení predikované a experimentální (směrové) geometrické drsnosti listové (atlasové A1/5) tkaniny v závislosti na geometrii a četnosti strukturálních buněk provázání.

## 5 Shrnutí sledované problematiky

Habilitační práce je koncipovaná jako písemná práce přinášející nové vědecké poznatky v oblasti struktury a vlastností listových a žakárských tkanin. Problematika struktury tkanin je stěžejní pro modelování jak dynamických procesů spojených s tvorbou tkaniny, tak statických procesů spojených s definicí vlastností tkaniny v ustáleném stavu.

Vliv struktury tkaniny (materiálu, provázání, dostavy) lze s dostatečnou přesností popsat na základě zjednodušujících předpokladů navržených modelů tkaniny určených k hodnocení užitných, mechanických i povrchových vlastností. Modelová představa tkaniny, uvedená v habilitační práci, vychází z předpokladu, že základní rozměry strukturálních prvků jsou již neměnné. Pro sledování závislosti mezi strukturou a výslednými vlastnostmi tkaniny je možné pracovat s teoretickými úvahami a modely, mnohdy doplněnými empirickými poznatky s vhodnou matematickou formulací. Dostatečně operativní model tkaniny popisující strukturu tkaniny může být použit v numerických modelech (MKP). Následně na těchto simulačních modelech lze hodnotit chování tkanin při změnách sil a deformací v čase.

Kapitoly habilitační práce se zaměřují na řešení témat spojených se strukturou listových i žakárských tkanin. Přináší nové analytické pohledy jak na definici parametrů plošné i prostorové geometrie tkanin, tak i na predikci vybraných vlastností tkanin hodnotících tkaninu ještě před její vlastní výrobou.

Přínosy habilitační práce ve vztahu ke struktuře tkanin listových a žakárských je možné shrnout v níže uvedených bodech:

- 1) **Vyjádření provázání nití** – přístup uvedený v habilitační práci nabízí pohled na vazbu ve vztahu jak ke vzorování, tak k definici parametrů plošné a prostorové geometrie listových a žakárských tkanin. Vzory všech listových a žakárských tkanin je možné vytvářet kombinací čtyř základních strukturálních buněk provázání vycházejících z provázání sousedících dvojic nití v osnovním a útkovém směru. Na základě analýzy strukturálních buněk provázání nití je vytvořen nový analytický přístup umožňující: 1) identifikaci provázání nití v listových a žakárských tkaninách, 2) definici parametrů plošné a prostorové geometrie listových a žakárských tkanin. Definice strukturálních buněk vychází z geometrie příslušné strukturální buňky, distribuce a četnosti jednotlivých buněk ve vztahu ke střídě vazby/vzoru v listových i žakárských tkaninách. Nejedná se o pouhé grafické zakreslení osnovních a útkových bodů pomocí vzornice. Je vytvořen operativní způsob popisu provázání, který umožní analýzu vztahu mezi provazujícími nitěmi a vlastnostmi výsledné tkaniny.
- 2) **Definice dostavy nití** – přístup uvedený v habilitační práci nabízí nové vyjádření limitní dostavy nití ve tkanině na základě rozboru geometrie těsného provázání strukturálních buněk ve tkanině. Nově navrženým přístupem lze nahradit ryze experimentální teorii stoprocentně husté tkaniny dle Brierleyho. Brierleyho teorie na základě empiricky stanovených vazebných exponentů umožňuje predikovat limitní dostavu vybraných základních a odvozených vazeb. Přístup k identifikaci provázání a definici limitního rozestupu nití listových a žakárských tkanin, navržený a uvedený v habilitační práci, umožňuje predikovat limitní dostavy všech typů provázání.



- 3) Vyjádření tvaru vazné vlny s využitím Fourierových řad v prostorové geometrii** – v této části habilitační práce je představen nový popis provázání nití v příčném řezu prostorové geometrie jednoduchých a spojkových vícenásobných tkanin. Jak ukazují prakticky realizované řezy tkaniny, tvar vazné vlny je blízký harmonickému průběhu. V daném případě se tak nabízí možnost popisu provázání Fourierovou řadou harmonických funkcí s určitým spektrem amplitud a posuvů jednotlivých harmonických složek. Toto spektrum je dáno vazbou tkaniny a reálným tvarem přechodových křivek. V rámci katalogizace vazeb lze vytvořit katalog příslušných spektrálních charakteristik, na základě kterých lze vazbu identifikovat. Vazba tkaniny a k ní příslušející část spektra harmonických složek je dána jednak velikostí příslušného provázání a jednak způsobem provázání (počet přechodů a počet flotáží) tj. složitostí vazby. Změna nebo deformace tvaru vazné vlny, ke které může dojít během tkaní, vede ke změně geometrie daného provázání, což se projeví na tvaru spektra vazby tkaniny. Na rozdíl od stávajících modelů, v práci prezentovaný popis respektuje periodicitu a tvar celé vazné vlny (včetně opakování) ve 2D a 3D tkaninách v plátnovém i v neplátnovém provázání.
- 4) Predikce vybraných vlastností tkanin v ustáleném stavu** – cílem příslušných kapitol habilitační práce bylo navrhnout modelovou představu listové a žakárské tkaniny, která umožní predikovat vybrané vlastnosti tkanin v ustáleném stavu pro možné posouzení jejich vhodnosti ještě před jejich vlastní výrobou. Pro sledování závislostí mezi strukturou a výslednými vlastnostmi tkaniny jsou použity matematické a geometrické modely doplněné empirickými poznatky. Algoritmy použité pro predikci vlastností tkaniny jsou postaveny na základních principech struktury přízí a struktury tkanin. Na základě navržených algoritmů byl sestaven software Libtex (predikce listových tkanin) a ProTkaTex (predikce listových a žakárských tkanin). V rámci habilitační práce jsou řešeny a navrženy modely ve vztahu k predikci:
- A) *Setkání nití v listových a žakárských tkaninách.* Tato část práce je zaměřena na nalezení optimálního nástroje definujícího parametr setkání nití ve tkanině pro potřeby technologů tkaní pracujících v oblasti přípravy konstrukce tkaniny. Setkání nití ve tkanině je konstrukční parametr tkaniny důležitý pro definici spotřeby osnovních a útkových nití, pro výpočet šířky a délky tkaniny, a v neposlední řadě pro stanovení šířky paprskové a čísla paprsku. Setkání nití ve tkanině nemá vliv pouze na konstrukci tkaniny a tkací proces, ale také ovlivňuje následně celý proces úpravy tkaniny v rámci procesu zušlechťování.
- B) *Tloušťky tkaniny.* Tato část práce je zaměřena na nalezení optimálního nástroje definujícího tloušťku tkaniny, která určuje rozměr mezi horní a spodní stranou tkaniny. Predikce vychází z prostorové geometrie plátnových a neplátnových tkanin především čtvercových konstrukcí. Z geometrie plátnové tkaniny plyne, že tloušťku tkaniny se shodným zvlněním nití lze definovat součtem průměrů. V případě změny zvlnění nití dochází k nárůstu tloušťky tkaniny, přičemž platí, že rozdíl ve zvlnění jedné soustavy vůči druhé soustavě nití ve tkanině lze vyjádřit absolutní hodnotou rozdílu výšek vazných vln. U neplátnových vazeb, z důvodu kombinace vyššího uvolnění nití v provázání a vyšší dostavy nití může docházet v místě flotáže k posunu neprovazujících nití. V rámci posunu nití může dojít k jejich částečnému přeskupení z předpokládaného



rovinného postavení. V predikci tloušťky neplátnových vazeb je podsouvání nití v místě flotáže zohledněno stupněm neprovázanosti nití.

C) *Geometrické drsnosti tkaniny*. Tato část práce je zaměřena na nalezení optimálního nástroje definujícího geometrii reliéfu povrchu tkaniny a predikci geometrické drsnosti tkaniny. Geometrickou drsnost spolu s dalšími základními charakteristikami tkaniny je možné použít při definici komfortu a výsledné kvality tkaniny. Predikce geometrické drsnosti tkaniny je definovaná jako střední odchylka tloušťky tkaniny v mikrometrech na hodnoceném úseku střídý vazby/vzoru. Teoretický profil povrchu tkaniny je vyjádřen na základě definice výšky výstupků a výšky prohlubní povrchu strukturálních buněk provázání nití v prostorové geometrii tkaniny.

## 6 Literatura

- [1] *Listový a žakárský prošlupní mechanismus*. Stäubli Group – textile section. 2019 [vid. 5.2.2019]. Dostupné z: <https://www.staubli.com>.
- [2] *Platiny v žakárském prošlupním mechanismu*. Jakob Müller Group, Systems and Solutions for Narrow Fabrics. 2019 [vid. 5.2.2019]. Dostupné z: <https://www.mueller-frick.com>.
- [3] *Manufacture of electronic jacquards for weaving machines*. Bonas Textile Machinery, Vandewiele. 2019 [vid. 5.2.2019]. Dostupné z: <https://www.vandewiele.com>.
- [4] NECKAR, B. Compression and packing density of fibrous assemblies. *Textile Research Journal* [online]. 1997. **67**(2), 123–130. ISSN 0040-5175. Dostupné z: doi:10.1177/004051759706700208.
- [5] NOSEK, S. *Theory of weaving process I-III*. Dům techniky ČSVTS. Pardubice. 1988.
- [6] KEMP, A. An Extension of Peirce's Cloth Geometry to the Treatment of Non-circular Threads, *Journal of the Textile Institute*. 1958. **47**(11), 44-48.
- [7] HEARLE JWS. and GROSBURG P. and BACKER, S. *Structural Mechanics of Fibers, Yarns, and Fabrics*. New York, Wiley-Interscience. 1969.
- [8] MILAŠIUS V. Woven fabric's cross-section: Problems, theory, and experimental data. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*. 1998. **4**(23), 48–50.
- [9] OZGEN, B. and GONG, H. Yarn geometry in woven fabrics, *Textile Research Journal*. 2011. **81**(7), 738-745.
- [10] MASAJTIS, J. *Analiza strukturalna tkanin*. Polska Akademia Nauk Oddzial w Łodzi, Komisja Włokkiennictwa, Łódź. 1999.
- [11] BEDNÁŘ, V. a SVATOŠ, S. *Vazby a rozborů tkanin*, SNTL Praha. 1989.
- [12] MORAVEC, V. a HRUDA, I. *Technologie II*. VŠST Liberec. 1985.
- [13] TALAVÁŠEK O. *Tkalcovská příručka*. SNTL Praha. 1980.
- [14] BRIERLEY, S. Cloth Setting Reconsidered IV. *Textile Manufacturer*. 1952. **79**, 533-537.
- [15] ASHENHURST, T.R. *A Treatise on Textile Calculations and the Structure of Fabrics*. Huddersfield. 1884.
- [16] LAW. W. Worsted fabric structure. *Wool Record and Textile World*. 1922. **21**, 968-986.
- [17] ARMITAGE, E.: Structure property relationships for fabrics. *Huddersfield Text Soc J*. 1907. **8**, 297-299.

- [18] MILASIUŠ, V. An Integrated Structure Factor for Woven Fabrics Part I: Estimation of the Weave *Journal of Textile Institute*. 2000. **2**, 268-276.
- [19] KRÁTKÝ, B. Metoda výpočtu maximálních dostav, užívaná ve vlnářském průmyslu. Výzkumná zpráva. Liberec. 1969.
- [20] DUFEK, J. *Vazby žakárských tkanin*. Státní pedagogické nakladatelství Praha. 1967.
- [21] PEIRCE, F.T. The Geometry of Cloth Structure. *Journal of Textile Institute*. 1937. **64**(2), 62-85.
- [22] OLOFSSON B. A. general model of a fabric as a geometric mechanical structure. *Journal of Textiles Institute*. 1964. **11**(55), 541-557.
- [23] BACKER, S. The relationship between the structural geometry of textile fabric and its physical properties, Part IV: Interstice geometry and air permeability, *Textile Research Journal*. 1951. **17**(10), 703-714.
- [24] SZOSLAND, J. Modelling of the inter – thread spaces in a woven fabric, *3rd Inter. Conf. on Novelties in weaving research and technology*. Maribor. 1999. ISBN 86-435-0289-8.
- [25] HAVLOVÁ, M. Detection of Fabric Structure Irregularities Using Air Permeability Measurements. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. 2014. **9**(4).
- [26] NOVIKOV, N., G., A. Fabric Structure and Its Design with the Geometrical Technique. *Textil. Prom*. 1946. **6**(2), 9–17.
- [27] GUSAKOV, A., V., and LOMOV, S. V. Parametric Studies of the Internal Structure of 3D Woven Fabrics, *Fibres Textiles East. Eur*. 1998. **6**(2), 60–63.
- [28] DVOŘÁK, J.: *Vybrané problémy tkání*, VÚTS Liberec. 2014. ISBN 978-80-87184-48-6.
- [29] SÍRKOVÁ, B. Operative mathematical model for description of binding waves in plain and other fabrics using the Fourier series. *3rd Inter. Conf. on Novelties in weaving research and technology*. Maribor, 1999, ISBN 86-435-0289-8.
- [30] SÍRKOVÁ, B. *Matematický model pro vyjádření provázání nití ve tkanině s využitím Fourierových řad*. Disertační práce. Technická univerzita v Liberci. 2003.
- [31] KOLČAVOVÁ SÍRKOVÁ, B. Description of binding waves using the Fourier Series. *Vlákna a Textil*. 2013. **20**(2), 32–40.
- [32] ZUHAIB, A. *Structure and geometry of single and two layer stitched woven fabrics*, Disertační práce. Technická univerzita v Liberci. 2018.
- [33] AHMAD, Z. and KOLČAVOVÁ SÍRKOVÁ, B. Analysis of mutual interlacing of threads in multifilament single layer and two layer woven fabric structure using Fourier series. *Journal of the Textile Institute* [online]. 2019. ISSN 0040-5000. Dostupné z: doi:10.1080/00405000.2019.1621043
- [34] AHMAD, Z. and KOLČAVOVÁ SÍRKOVÁ, B. Modelling of reinforcement two-layer stitched woven fabric structure intended for composites. *Journal of the Textile Institute* [online]. 2019. ISSN 0040-5000. Dostupné z: doi:10.1080/00405000.2019.1655128
- [35] REKTORYS, K. *Přehled užití matematiky I, II*. Nakladatelství Prometheus Praha. 1995.
- [36] MATUŠŮ, J., GABRIEL, S., GABRIELOVÁ, L. *Matematika III*. ČVUT Praha. 1988.
- [37] ANGOT, A. *Užitá matematika pro elektrotechnické inženýry*. SNTL Praha. 1960.
- [38] SÍRKOVÁ, B. Influence of thread's interlacing on fabric structure. *Texsci 2000*. Technical University Liberec, Czech Republic. 316–319.
- [39] SÍRKOVÁ, B. Operativní matematický model pro vyjádření tvaru vazné vlny v plátnovém a jiném než plátnovém provázání ve tkaninách s použitím Fourierovy řady. *STRUTEX*

- Structure and Structural Mechanics of Textiles Conference*. Liberec, Czech Republic. 1999. ISBN 80-7083-371-8.
- [40] SIRKOVA KOLCAVOVA, B. a VYSANSKA, M. Methodology for Evaluation of Fabric Geometry on the Basis of the Fabric Cross-Section. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2012, **20**(5), 41–47. ISSN 1230-3666.
- [41] LOMOV, S.V., HUYSMANS, G., VERPOEST, I. Hierarchy of textile structures and architecture of fabric geometric models. *Textile Research Journal*. 2001. **71**(6), 534-543.
- [42] VERPOEST, I. and S.V. LOMOV. Virtual textile composites software Wisetex: integration with micro-mechanical, permeability and structural analysis. *Composites Science and Technology*. 2005. **65**(15-16), 2563-2574.
- [43] BEHERA, B.K., HARI, P.K. *Woven textile structure, Theory and applications*, Woodhead Publishing Limited. 2010. ISBN 978-1-84569-514-9.
- [44] VANAERSCHOT, A., B. N. COX, S. V. LOMOV and D. VANDEPITTE. Stochastic multi-scale modelling of textile composites based on internal geometry variability. *Computers and Structures*. 2013. 55-64.
- [45] KOLCAVOVÁ SIRKOVA, B. Optimalizace modulu tkanin. Průběžná zpráva. Technická univerzita v Liberci. 2007. RIV/46747885:24410/07:#0000135.
- [46] KOLCAVOVÁ SIRKOVA, B. Projektování tkanin. Nová verze. Průběžná zpráva. Technická univerzita v Liberci. 2007. RIV/46747885:24410/07:#0000134.
- [47] KOLCAVOVÁ SIRKOVÁ, B., MERTOVA, I., HOLADA, M., JANOUŠEK J. ProTkaTex, Počítačový hardware a software. Technická Univerzita v Liberci. 2010. RIV/46747885:24410/10:#0000698.
- [48] SIRKOVA KOLCAVOVA, B. Description of Fabric Thickness and Roughness on the Basis of Fabric Structure Parameters. *Autex Research Journal*. 2012, **12**(2), 40–43. ISSN 1470-9589.
- [49] SIRKOVA, KOLCAVOVA, B. and MERTOVA, I. Computer Aided Woven Fabric Design. *World Journal of Engineering*. 2011. **7**(1). ISSN 1708-5284.
- [50] SIRKOVA, SIRKOVA, KOLCAVOVA, B. and MERTOVA, I.. Prediction of Woven Fabric Properties Using Software Protkatex. *Autex Research Journal* [online]. 2013, **13**(1), 11–16. ISSN 1470-9589. Dostupné z: doi:10.2478/v10304-012-0017-5.
- [51] SIRKOVÁ, KOLCAVOVA, B. and MERTOVA, I. Modeling of warp and weft crimp in jacquard woven fabric structure. *Fiber Society Spring 2014 Technical Conference, Fibers for Progress*. Liberec, Czech Republic. 2014. Code 109655.
- [52] NECKÁŘ, B. *Příze – Tvorba, struktura, vlastnosti*. SNTL Praha. 1990.
- [53] HEARLE, J.W.S., GROSBERG, P. and BACKER, S. *Structural Mechanics of Fibers, Yarns, and Fabrics*. Wiley-Interscience USA. 1969.
- [54] KOVÁŘ, R. *Struktura a vlastnosti plošných textilií*. Technická univerzita v Liberci. 2003. ISBN 80-7083-676-8.
- [55] NOSEK, S. Struktura a geometrie tkanin. Výzkumná zpráva. VÚB, Ústí nad Orlicí. 1996.
- [56] Brigita Kolcavova SIRKOVA. a I. MERTOVA. Woven fabric structural pore models analysis. *Vlakna a Textil*. 2017, 24(1), 15–24.
- [57] NIS Elements. Manual of NIS Elements, Ar 2.34, [on line]. [vid. 17. 12. 2018]. Dostupné z: [http://www.well.ox.ac.uk/\\_asset/file/m378e-nis-elements-ar-ver234.pdf](http://www.well.ox.ac.uk/_asset/file/m378e-nis-elements-ar-ver234.pdf).

- [58] IS 46-108-01/01. Recommendation of procedure for preparation of samples, soft and hard sections (slices). (*Informace a dokumentace o přípravě příčných řezů textilií*).
- [59] MERTOVA, I. NECKAR, B. and ISHTIAQUE, S.M. New method to measure yarn crimp in woven fabric. *Textile Research Journal* [online]. 2016, **86**(10), 1084–1096. ISSN 0040-5175. Dostupné z: doi:10.1177/0040517514551464.
- [60] KAWABATA, M. The finite-deformation theory of plain-weave fabrics. Part I: the biaxial deformation theory. *Journal of The Textile Institute*. 1973. **64**(1), 21-46.
- [61] LOMOV, SV. *Understanding and modelling the effects of stitching on the geometry of non-crimp fabrics*. in *Non-crimp fabric composites: manufacturing, properties and applications*. SV Lomov, Editor. 2011. Woodhead Publishing: Oxford, 84-102.
- [62] KOVAR, R. Length of the yarn in plain-weave crimp wave. *The Journal of The Textile Institute*. 2011. **102**(7), 582-597.
- [63] MAQSOOD, M., HUSSAIN, T., NAWAB, Y., SHAKER, K. and UMAIR, M.: Prediction of warp and weft yarn crimp in cotton woven fabrics, *The Journal of The Textile Institute*. 2015. **106**(11), 1180-1189.
- [64] BEHERA, BK., MILITKY, J., MISHRA, R. and KREMENAKOVA, D. *Modeling of woven fabric geometry and properties*, *Woven Fabrics*. Prof. Han-Yong Jeon (Ed.) In Tech. 2012. 1-32. ISBN 978-953-51-0607-4.
- [65] NECKÁŘ, B. *Struktura a vlastnosti textilií*. Učební texty. Technická univerzita v Liberci. 2007.
- [66] ZAFIROVA, K. and JORDANOVSKI, L. Mathematical definition of the thickness of woven fabric depending on infeed parameters, *Tekstil Zagreb*. 1998. **47**(5), 246-249.
- [67] BUMBÁLEK, B. ODVODY, V. a OŠŤÁDAL, B. *Drsnost povrchu*. SNTL Praha. 1989.
- [68] EN ISO 4287, CEN 1998-01-26. *Struktura povrchu* 1998. (*Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu*).
- [69] KAWABATA, S. *The Standardization and Analysis of Hand Evaluation*. Japan Textile Machinery Society. Kyoto. 1980.
- [70] MILITKÝ, J. Woven fabric surface quantification. *Woven Fabric InTech*. 2012. ISBN 978-953-51-0607-4.
- [71] MILITKÝ J. and BAJZÍK V. Characterization of Textile Surface Roughness, *Proc. 7th Int. Asian Textile Conference*. Hong Kong. 2001.
- [72] BLEŠA, M. and MILITKÝ, J. Evaluation of Patterned Fabrics Surfaces Roughness, *Indian Journal of Fibre & Textile Research*. 2008. **33**, 246-252.
- [73] BLEŠA, M. *Komplexní hodnocení povrchové struktury textilií*. Disertační práce. Technická univerzita v Liberci. 2009.
- [74] BUENO, M. A., ANEJA, A. P. and RENNER, M. Influence of the Shape of Fiber Cross Section on Fabric Surface Characteristics. *Journal of Materials Science*. 2004. **39**, 557– 564.
- [75] PONT, S. C. and KOENDERINK, J. J. Split Off-Specular Reflection and Surface Scattering from Woven Materials. *Applied Optics*. 2003. **42**(8), 1526-33.
- [76] CHANIČKOVSKÁ, S. *Vliv vzoru v jednoduchých žakárských tkaninách na drsnost tkanin*. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci. 2014.
- [77] EZAZSHAHABI, N., TEHRAN, M., LATIFI, L. and MADANIPOUR, K. Modelling of surface roughness based on geometrical parameters of woven fabrics. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*. 2017. **42**, 43-50.